

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2013

Bc. Marek Vychodil

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

410 - Katedra elektroenergetiky

**Projekt elektrického zařízení
pro průmyslové technologie**

**Project of industrial technology electrical
equipment**

2012/2013

Bc. Marek Vychodil

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Marek Vychodil**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Projekt elektrického zařízení pro průmyslové technologie**
Project of industrial technology electrical equipment

Zásady pro vypracování:

Břemenové elektromagnety, rozdělení, princip, způsoby napájení.
Konstrukce zařízení pro napájení břemenového elektromagnetu.
Návrh ovládání, dimenzování použitých součástí, jištění.
Projektová dokumentace elektrorozváděče.


Seznam doporučené odborné literatury:

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Bernat, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

„Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

Dne 5. 5. 2013 v Ostravě

Bc. Marek Vychodil

.....

Poděkování studenta

Děkuji panu Ing. Stanislavu Hortovi z firmy AXIMA spol. s r.o. za umožnění vypracovávání mé diplomové práce. Dále děkuji mému vedoucímu Ing. Petru Bernatovi, Ph.D. za pomoc při tvorbě mé diplomové práce.

Abstrakt

Předmětem diplomové práce je seznámení se s principem a použitím břemenových elektromagnetů. K ovládání těchto elektromagnetů je využíván speciální napájecí zdroj, který je nedílnou součástí celé jeřábové konstrukce. Návrh jednoho z nejčastěji využívaných zdrojů vzhledem k jeho ekonomické výhodnosti je v mé práci podrobně popsán a to společně se vzorovým projektem, specifikací jednotlivých přístrojů, které jsou použity a dimenzovány na základě znalostí obvodu a popisu dle katalogových listů. Na základě těchto skutečností by mělo být porozuměno problematice elektromagnetu a návrhu napájecího zdroje.

Klíčová slova

Projekt, napájecí zdroj, zálohovaný zdroj, břemenový elektromagnet, dimenzování součástí.

Abstract

The subject of this thesis is to introduce the principles and usage of lifting electromagnets. To the control of this electromagnets special power supply is being used, which is an integral part of crane structure. Proposal of one of the most frequently used sources, due to its economic advantage, is in my work and together with the model project described in detail, the specifications of individual devices that are used and designed based on knowledge of the circuit and the description according to the data sheets. Based on these facts, understanding of the electromagnet and power supply design should be achieved.

Key words

Project, power supply, backup source, lifting magnets, dimensioning components.

Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol	Popis	jednotka
B	Magnetická indukce	[T]
E	Intenzita elektrického pole	[V·m ⁻¹]
f	Frekvence, kmitočet	[Hz]
F	Přidrzná síla elektromagnetu	[N]
H	Intenzita magnetického pole	[A·m ⁻¹]
I	Elektrický proud	[A]
l	Délka	[m]
L	Vlastní indukčnost	[H]
P	Výkon	[W]
Q	Tepelný tok	[W]
S	Plocha	[mm ²]
U	Elektrické napětí	[V]
W	Energie (práce)	[J]
α	Součinitel přestupu tepla	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]
μ_0	Permeabilita	[H·m ⁻¹]
δ	Vzduchová mezera	[mm]
Φ	Magnetický tok	[Wb]
AC	Střídavé napětí	
ČSN	Česká technická norma	
DC	Stejnoseměrné napětí	
LED	Polovodičový světelný zdroj	
MACO	Magnet controller	
PLC	Programovatelný logický automat	
PVC	Polyvinylchlorid	

Obsah

1	ÚVOD.....	- 1 -
2	ELEKTROMAGNETY	- 1 -
2.1	Princip.....	- 1 -
2.2	Rozdělení dle způsobu napájení	- 2 -
2.3	Polarizované elektromagnety.....	- 4 -
2.4	Zapínání a vypínání elektromagnetu.....	- 5 -
2.5	Přidržené elektromagnety	- 6 -
2.6	Technické pojmy elektromagnetu.....	- 8 -
2.7	Ovládací elektromagnety	- 12 -
2.8	Břemenové elektromagnety	- 13 -
2.9	Účinky na lidský organismus.....	- 19 -
3	ZDROJE PRO NAPÁJENÍ.....	- 20 -
3.1	Napájecí zdroj MACO	- 20 -
3.2	Napájecí zdroj MACOdrive.....	- 22 -
3.3	Napájecí zdroj MACO perm.....	- 24 -
3.4	Popis návrhu zařízení.....	- 27 -
3.5	Napájecí zdroj	- 27 -
3.6	Záloha zdroje	- 29 -
3.7	Návrh rozvaděčové skříně	- 29 -
3.8	Chlazení rozvaděčové skříně	- 30 -
3.9	Jištění zařízení	- 32 -
3.10	Dimenzování vedení	- 36 -
3.11	Spínací a ovládací prvky	- 38 -
3.12	Návrh baterií	- 40 -
3.13	Funkce rozvaděče	- 40 -
4	NÁVRH A KONSTRUKCE NAPÁJECÍHO ZDROJE	- 43 -
4.1	Konstrukce skříně	- 43 -
4.2	Chlazení rozvaděče	- 43 -
4.3	Návrh transformátoru.....	- 43 -
4.4	Návrh jištění.....	- 44 -
4.5	Návrh kabelového vedení	- 48 -
4.6	Návrh ovládacího obvodu PLC.....	- 49 -
4.7	Návrh prvků	- 49 -
4.8	Specifikace baterií	- 51 -
4.9	Konečná fáze projektu	- 51 -
5	ZÁVĚR.....	- 53 -
	SEZNAM TABULEK	- 54 -
	SEZNAM OBRÁZKŮ	- 55 -
	SEZNAM LITERATURY	- 56 -
	SEZNAM PŘÍLOH	- 58 -

1 Úvod

V mé diplomové práci se budu zabývat napájením a řízením břemenových elektromagnetů.

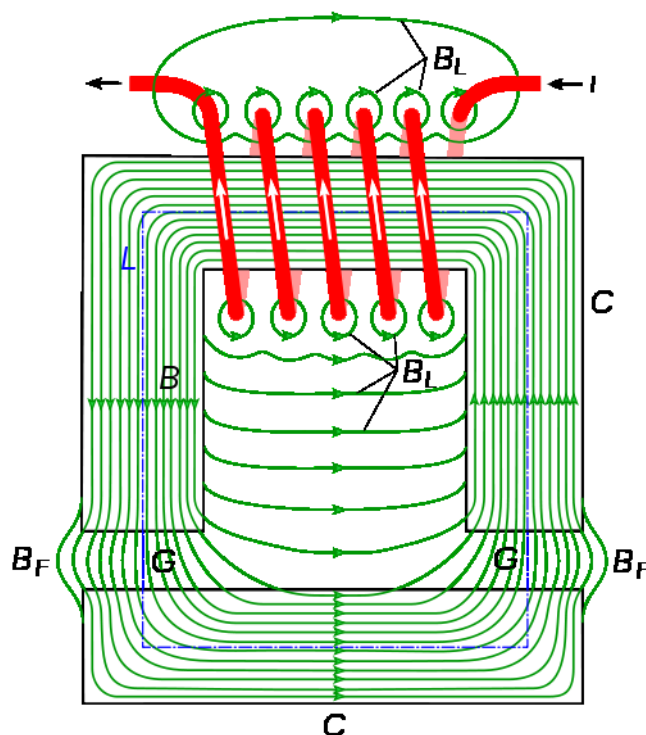
Břemenové elektromagnety mají využití ve všech průmyslových odvětvích. Tyto elektromagnety se využívají převážně v hutních a slévárenských závodech. Díky jejich využití je možné efektivně manipulovat s feromagnetickými materiály. To ovšem sebou nese potřebu vhodné konstrukce zdroje.

Výsledkem této práce by měl být popis, rozdělení a vysvětlení principu břemenových elektromagnetů. Zároveň by práce měla pomoci při samostatném návrhu jednotlivých celků napájecího zdroje.

2 Elektromagnety

2.1 Princip

Elektromagnet je cívka s jádrem z magneticky měkké oceli, používaná k vytváření dočasného magnetického pole. Princip spočívá v přeměně energie elektromagnetického pole na energii mechanickou. Magnetická síla zde vzniká při průchodu elektrického proudu vinutím cívky na ocelovém jádře, které přitahuje pohyblivou část - kotvu. Magnetické pole elektromagnetu je tím silnější, čím větší elektrický proud prochází cívkou a dále také čím více má cívka závitů. V běžné technické praxi je tato síla fyzikálně omezena, mimo jiné, též celkovou magnetickou vodivostí jádra elektromagnetu, která samozřejmě nemůže být nekonečná. [11]



Obrázek 1 Řez elektromagnetu

2.2 Rozdělení dle způsobu napájení

Břemenové elektromagnety mohou být napájeny stejnosměrným a střídavým napětím. Tomuto napětí musí být přizpůsobena konstrukce elektromagnetu.

Stejnoscsměrné elektromagnety

Jádro stejnosměrných magnetů je vyrobeno z plného feromagnetického materiálu. Konstrukce jádra je z jednoho kusu, a proto není složitá.

Stejnoscsměrné elektromagnety jsou výhodnější než střídavé. A to rozměrově s využitím magnetického obvodu a proudových poměrů a jeho vlivu na silové poměry. Proud v ustáleném stavu je dán pouze napětím a rezistencí cívky a nezávisí na poloze kotvy. Protože proud cívky je úměrný magnetickému napětí elektromagnetu, je po přitažení kotvy nutná jen malá síla pro udržení a tudíž i malý proud.

Budící cívky velkých stejnosměrných elektromagnetů stykačů se proto někdy navrhují poddimenzované a po přitažení se proud cívkou zmenší zapojením odporu do jejího obvodu, aby nedošlo ke spálení cívky. Stejnoscsměrnými elektromagnety se většinou realizuje přímý pohon. Tahová síla stejnosměrného elektromagnetu je dána rovnicí ve známém tvaru:

$$F = \frac{B^2}{\mu_0} \cdot S \quad (2.1)$$

Dosadíme-li do této rovnice za magnetickou indukci magnetické napětí a magnetický odpor vzduchové mezery, získáme v ideálním případě, kdy se celý magnetický tok uzavírá bez rozptylu tzv. geometrickou vzduchovou mezerou, závislost síly na zdvihu neboli tahovou charakteristiku elektromagnetu ve tvaru:

$$F(\delta) = \frac{\Phi^2}{S^2} \cdot \frac{S}{2 \cdot \mu_0} = \frac{F_m^2}{R_m^2} \cdot \frac{1}{2 \cdot \mu_0 \cdot S} = \frac{1}{2} \cdot \frac{F_m^2 \cdot \mu_0 \cdot S}{\delta^2} \quad (2.2)$$

Znamená to, že závislost tahové síly elektromagnetu je nepřímo úměrná čtverci velikosti vzduchové mezery. Předcházející úvahy předpokládají, že celý magnetický tok daný budícím magnetickým napětím se zúčastní vytvoření tahu. Ve skutečnosti se v magnetickém obvodu uplatňuje rozptyl. Proto bude skutečný magnetický tok ve vzduchové mezeře a také magnetický tah menší. Rozptyl se uplatní tím více, čím větší bude magnetická indukce ve vzduchové mezeře. [1]

Střídavé elektromagnety

U střídavých jednofázových elektromagnetů bývá budící cívka obvykle napájena ze zdroje střídavého napětí. V tomto případě je proud určen rezistencí a vlastní indukčností cívky, která závisí na poloze kotvy. Je-li odpor cívky zanedbatelný vůči její reaktanci, bude magnetický tok konstantní a elektromagnet bude vyvozovat konstantní tah při libovolné poloze kotvy. Odpor, který nelze zanedbat, se projeví pozměněním této ideální tahové charakteristiky. Ve výchozí poloze při

velké vzduchové mezeře je impedance cívky malá a cívka odebírá velký proud. Úbytek napětí vyvolaný na rezistanci cívky způsobí, že tento úbytek napětí na reaktanci poskytne magnetický tok podstatně menší velikosti. Proto počáteční přitah bude menší. Zmenšuje-li se vzduchová mezera, zvětšuje se reaktance cívky, a tím se zmenšuje proud a úbytek napětí na rezistenci cívky. Zvětšuje-li se napětí na reaktanci, zvětšuje se i tah, neboť se magnetický tok odpovídající napětí na reaktanci postupně zvětšuje. Tahová charakteristika v tomto případě získává tvar podobný tahové charakteristice stejnosměrných magnetů. [9]

Silové poměry střídavých elektromagnetů závisí rovněž na stupni nasycení jádra. Není-li jádro nasyceno, má magnetický tok sinusový průběh. Je-li nasyceno, má tok průběh, který můžeme přibližně nahradit lichoběžníkem. Dosadíme-li do rovnice sinusový průběh magnetické indukce pro případ nenasyčeného magnetického toku, bude okamžitá hodnota síly dána rovnicí (2.3).

$$F(t) = \frac{B^2 \cdot S}{4 \cdot \mu_0} \cdot (1 - \cos 2 \cdot \omega \cdot t) = \frac{F_m}{2} \cdot (1 - \cos 2 \cdot \omega \cdot t) = F_{av} \cdot (1 - \cos 2 \cdot \omega \cdot t) \quad (2.3)$$

Střídavé elektromagnety jsou napájeny ze sítě o kmitočtu 50Hz a proto je magnetický obvod tvořen tenkými izolovanými plechy z důvodu snížení ztrát vířivými proudy a ztrát hysterezí. Tažná síla střídavých elektromagnetů kolísá mezi nulou a maximem s frekvencí 100Hz, tím dochází ke chvění kotvy a nepříjemnému zvuku. Proto jsou tyto elektromagnety vybaveny tlumícím závitem, neboli závitem na krátko, který se používá k vytvoření fázově posunutého magnetického toku. Tento problém lze řešit také použitím polovodičových součástek. Vinutí elektromagnetu se přitom napájí pulsujícím usměrněným napětím. Proud se vlivem velké indukčnosti cívky značně vyhladí, a proto tah kolísá v malém rozpětí. Elektromagnet s tlumícím závitem obepínajícím část průřezu jádra, vytvoří tah (při zanedbání činného odporu budicí cívky a reaktanci tlumícího závitu), jehož střední hodnota bude:

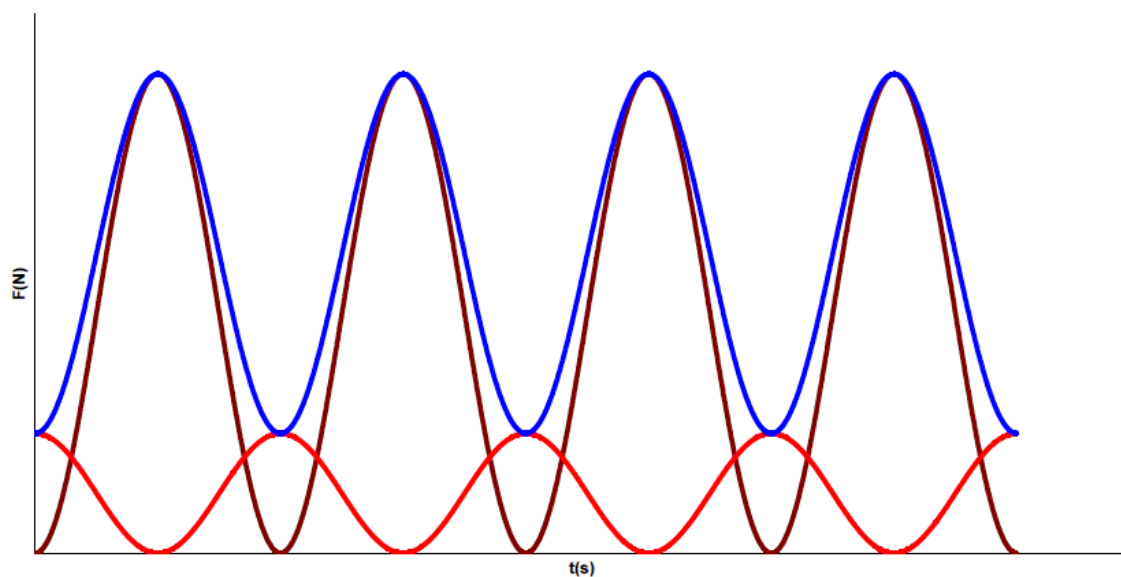
$$F(\delta) = \frac{1}{2 \cdot \mu_0 \cdot S} \cdot \left[\Phi_1^2 + \frac{\Phi_2^2}{a \cdot (1-a)} \right] \quad (2.4)$$

kde Φ_1 je tok procházející částí průřezu S_1 sloupku mimo oblast tlumícího závitu, Φ_2 je tok procházející částí průřezu S_2 sloupku obemknutém tlumícím závitem a $a = \frac{S_2}{S}$, kde S je celkový průřez sloupku. Při návrhu se vždy hledá optimální velikost tohoto poměru, aby byl zajištěn požadovaný poměr středního tahu k minimální síle, kterou lze u určitého mechanismu získat se zřetelem na spolehlivou činnost. [1]

Zavit nakrátko střídavého elektromagnetu

Jelikož přitažlivá síla elektromagnetu kmitá s dvojnásobnou frekvencí, jsou střídavé elektromagnety mnohem hlučnější než stejnosměrné. Z větší části lze omezit hlučnost závitem nakrátko.

Princip závitu na krátko je takový, že hlavním magnetickým obvodem prochází hlavní tok Φ_1 . V závitu nakrátko se indukují napětí a prochází proud. Tento proud tvoří vlastní indukční tok Φ_2 . Výsledná síla je dána součtem sil těchto dvou toků.



Obrázek 2 Závít na krátko a jeho průběh

Význam jednotlivých sinusovek, znázorněných na obrázku č. 2:

- Hnědá** - bez závitu na krátko
- Červená** - se závitem na krátko
- Modrá** - výsledný průběh síly

Závít na krátko zabrání periodicky pulsující přitažlivé síle dosáhnout nulové hodnoty, tedy ztrátě přitažlivé síly elektromagnetu. [10]

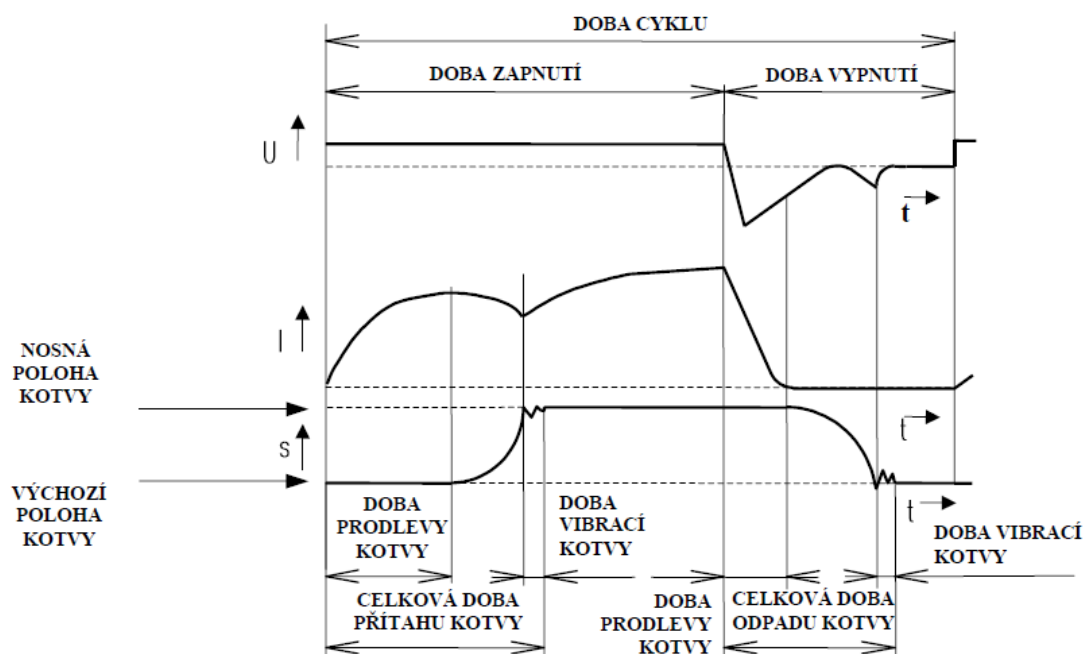
2.3 Polarizované elektromagnety

Pro velmi rychle působící relé se využívají polarizované elektromagnety. Příznivě se v tomto případě uplatňuje, kromě elektromagnetických poměrů, velmi malý zdvih a velmi lehká kotva. Dokonce i u stejnosměrných elektromagnetů se používá magnetický obvod složený z plechů k omezení vlivu vířivých proudů.

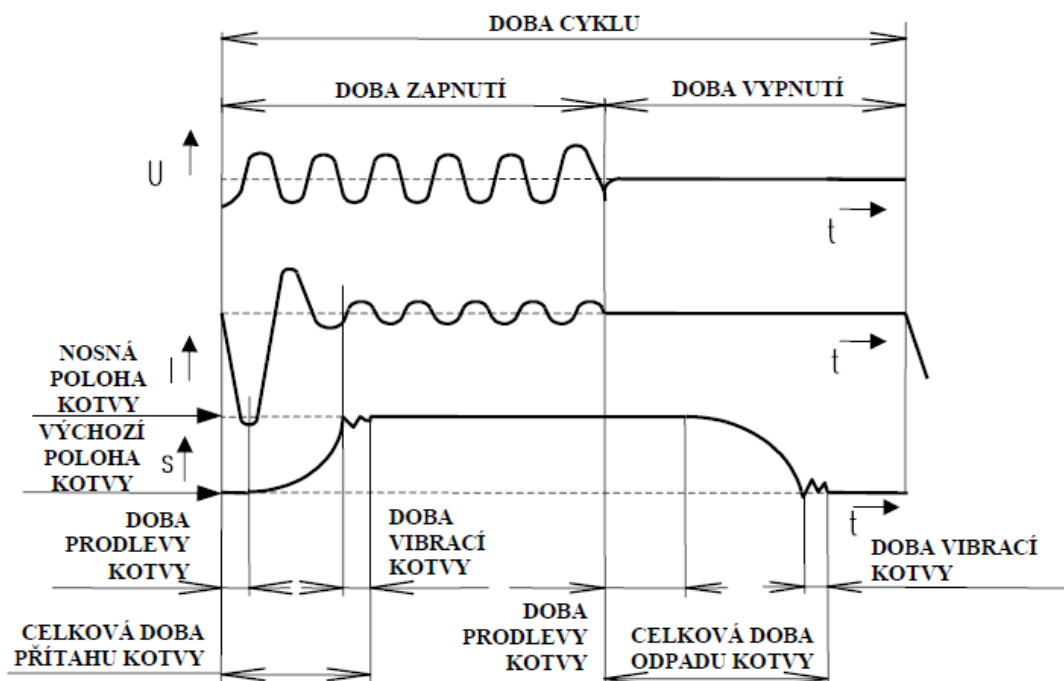
V magnetickém poli polarizovaných elektromagnetů se uplatňují dva magnetické toky – řídicí a polarizační. Polarizační tok se může vytvořit druhým budícím vinutím, avšak většinou se k jeho vytvoření používají permanentní magnety. Působení polarizovaných elektromagnetů závisí na polaritě budícího proudu. I když budící cívkou neprochází řídicí proud, vzniká účinkem polarizačního toku stále určitý tah. Kotva se začne pohybovat od okamžiku vzniku proudu v řídicím vinutí. [1]

2.4 Zapínání a vypínání elektromagnetu

Při zapnutí nebo vypnutí stejnosměrných a střídavých elektromagnetů dochází k přechodným dějům. Tyto děje jsou zobrazeny na obrázcích 3 a 4.



Obrázek 3 Zapínací a vypínací charakteristiky stejnosměrného elektromagnetu



Obrázek 4 Zapínací a vypínací charakteristiky střídavého elektromagnetu

Celková doba přitahu (odpadu) kotvy [ms] - vyjadřuje součet doby prodlevy, přitahu (odpadu) a vibrací kotvy. Je závislá na velikosti zátěže, a pokud není uvedeno jinak, udává se pro zátěž odpovídající $\frac{2}{3} F_N$.

Doba přitahu kotvy [ms] - vyjadřuje dobu od začátku pohybu kotvy z výchozí polohy nosné pod vlivem vnitřní magnetické síly.

Doba odpadu kotvy [ms] - vyjadřuje dobu od začátku pohybu kotvy z nosné do výchozí polohy pod vlivem vnějších sil.

Doba prodlevy kotvy [ms] - vyjadřuje dobu od okamžiku zapnutí nebo vypnutí napájecího napětí do začátku pohybu kotvy.

Doba vibrace kotvy [ms] - vyjadřuje dobu, během které může kotva vibrovat do úplného zastavení vibrací po příchodu do nosné nebo výchozí polohy v důsledku mechanických vlivů.

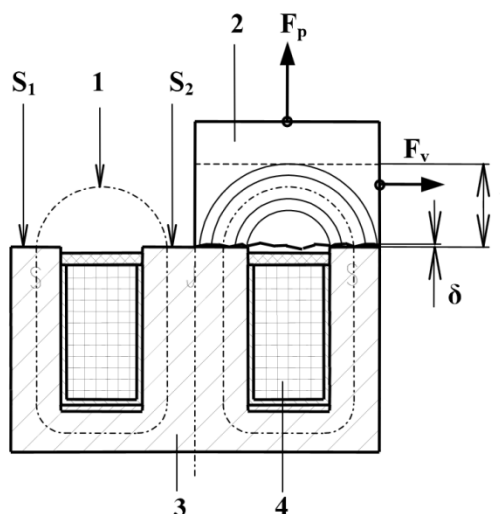
Časová konstanta τ - je definována vztahem:

$$\tau = \frac{L_M}{R_M} \quad (2.5)$$

L_M - indukčnost cívky elektromagnetu
 R_M - ohmický odpor cívky elektromagnetu

2.5 Přídržné elektromagnety

Slouží k pevnému upínání feromagnetických materiálů. Vyznačují se minimálním zdvihem a velkou přitažlivou silou. Mohou být doplněny trvalými permanentními magnety, kdy pracují inverzně. Bez napájení trvale drží feromagnetický materiál. Při přivedení napájení na cívku je přitažlivá síla vůči feromagnetickému materiálu nulová. Výhoda je nižší spotřeba a bezpečnost při výpadku.



Obrázek 5 Řez přídržného elektromagnetu s kotvou [9]

1	-	otevřený magnetický obvod
S_1/S_2	-	magnetické přídržné plochy
2	-	feromagnetický materiál
3	-	těleso magnetu
4	-	budící vinutí
S, J	-	magnetické póly
δ	-	vzduchová mezera
F_p	-	přídržná síla
F_v	-	posuvná síla
T	-	optimální tloušťka vrstvy

Každý přídržný elektromagnet je vyroben tak, aby na přídržné ploše vznikalo magnetické pole mezi severním a jižním pólem. Magnetický obvod je na straně přídržné plochy otevřený. Po přiložení feromagnetického materiálu se změní otevřený magnetický obvod na uzavřený a značně se zvýší hodnota magnetického toku Φ . Největší magnetický tok vzniká při úplném dosednutí kotvy na plochu elektromagnetu.

Na přídržnou sílu elektromagnetu mají vliv tyto aspekty:

- Nežádoucí materiálové příměsi v tělese elektromagnetu i v kotvě
- Drsnost vzájemných přídržných ploch
- Vzduchová mezera δ (čím je větší, tím je menší vodivost a přídržná síla)

Pro běžnou kotvu s drsností povrchu $R_a = 3,2$ platí pro posuvnou sílu F_v tento vztah:

$$F_v = \frac{F_p}{4} \quad (2.6)$$

Posuvná síla je značně závislá na koeficientu smykového tření.

2.6 Technické pojmy elektromagnetu

Tahová síla F [N] - magnetická síla vyvíjená elektromagnetem při přímočarém pohybu kotvy, která působí ve směru pohybu kotvy. Tato síla závisí na poloze kotvy a není závislá na pracovní poloze elektromagnetu.

Jmenovitý tah F_N [N] - vyjadřuje minimální zaručenou hodnotu tahu při jmenovitém zdvihu vztahenou k provozně teplému stavu elektromagnetu a minimální hodnotě napájecího napětí.

Přidrzná síla F_p [N] - neboli odtrhová síla, je magnetická síla při dosažení koncové polohy zdvihu.

Výchozí poloha kovy - předpokládaná poloha kotvy před začátkem jejího pohybu.

Nosná poloha kovy - předpokládaná poloha kotvy po ukončení jejího pohybu.

Zdvih kotvy s [mm] - vyjadřuje dráhu kotvy z výchozí polohy do nosné.

Jmenovitý zdvih s_c [mm] - udává max. hodnotu zdvihu kotvy, která odpovídá jmenovitému tahu.

Jmenovitá práce $[Ncm]$ - součin jmenovitého tahu a jmenovitého zdvihu kotvy.

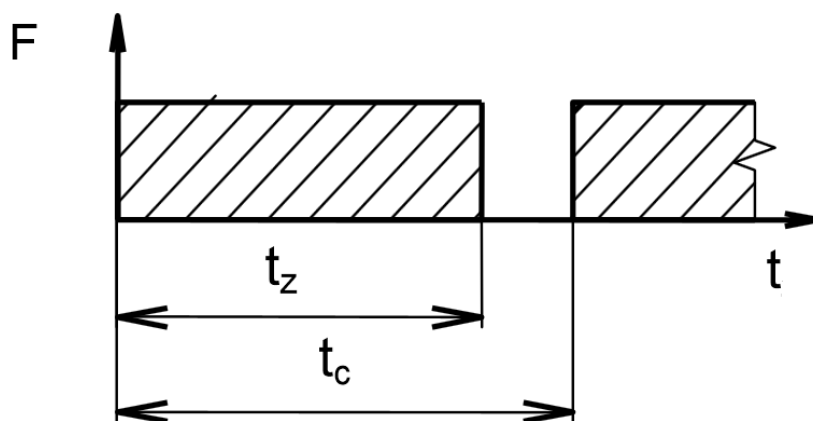
Jmenovité napětí U_N [V] - je napájecí napětí přístrojů udávané výrobcem.

Jmenovitý proud I_n [A] - hodnota proudu protékající vinutím cívky elektromagnetu ve studeném stavu.

Jmenovitý příkon P_n [W] - součin jmenovitého napětí a proudu.

Relativní zatěživatel RZ [%] - relativní zatěživatel je dán vzorcem:

$$RZ = \frac{t_z}{t_c} \cdot 100 \quad (2.7)$$



Obrázek 6 Pracovní cyklus [9]

Obrázek 6 Pracovní cyklus vyjadřuje zapnutí a vypnutí elektromagnetu v závislosti na čase.

- t_z - čas, po kterou je elektromagnet zapnut během jednoho cyklu
 t_c - čas jednoho pracovního cyklu

Obecně se dá usuzovat, že čas jednoho pracovního cyklu by neměl být delší než 300s, tzn.:

Max. čas t_z	40 % RZ max. 120s
	25 % RZ max. 75s
	15 % RZ max. 45s
	5 % RZ max. 75s

Hustota spínání h [-/h] - vyjadřuje počet sepnutí, které elektromagnet vykoná za 1 hodinu.
Hustota spínání určuje čas jednoho pracovního cyklu:

$$t_c = \frac{3600}{h} \quad (2.8)$$

Je-li čas cyklu větší než 300s (5minut), je zatížení považováno za trvalé (RZ 100%).

Maximální hustota spínání h_{max} [-/h] - vyjadřuje max. počet sepnutí, který elektromagnet může zvládnout za hodinu, přičemž ovlivňující faktory jsou čas přitahu a odpadu kotvy a oteplení v důsledku zvýšeného zátažového proudu.

Jmenovité provozní podmínky - elektromagnety jsou konstruovány tak, aby byla zajištěna jejich funkce a bezpečnost.

Podmínky provozu:

- Rozsah napětí -10% až +6% jmenovitého napětí, jiné rozsahy jmenovitého napětí vyžadují projednání s výrobcem a provozovatelem.
- Rozsah frekvence $\pm 1\%$ jmenovité frekvence.
- Instalovaná nadmořská výška do 1000m nad mořem, pro vyšší polohy je nutné zohlednit horší chlazení zařízení.
- Teplota okolí -5°C až $+40^\circ\text{C}$, je možné elektromagnet provozovat mimo stanovené teploty, je ovšem důležité brát v potaz měnící se vlastnosti elektromagnetu.

Mechanická životnost - udává počet cyklů, po kterých musí elektromagnet minimálně pracovat, aniž by došlo k poruše. Zaručená životnost je vtažena k pracovní poloze a musí být dodržena požadovaná údržba. Údržba většinou není potřeba.

Požadavky kladené na izolanty - pro mezní teplotu izolantů používaných pro vinutí a dalších částí přístroje, platí hodnoty v tabulce. Při provozu s maximálním přípustným napětím nesmí být tyto hodnoty překročeny o více než 10K.

Pro mezní oteplení platí hodnoty v Tabulka 1 ve třetím sloupci. Mezní oteplení se zjišťuje z mezní teploty, od níž se odečte teplota 40 °C, která platí pro teplotu okolí. Měření teploty se provádí termickým prvkem, umístěným ve vinutí.

Tabulka 1 Označení tepelných tříd

TEPELNÁ TŘÍDA	MEZNÍ TEPLOTA [°C]	MEZNÍ OTEPLENÍ K
Y	90	50
A	105	65
E	120	80
B	130	90
F	155	115
H	180	140
200	200	160
220	220	180
250	250	210

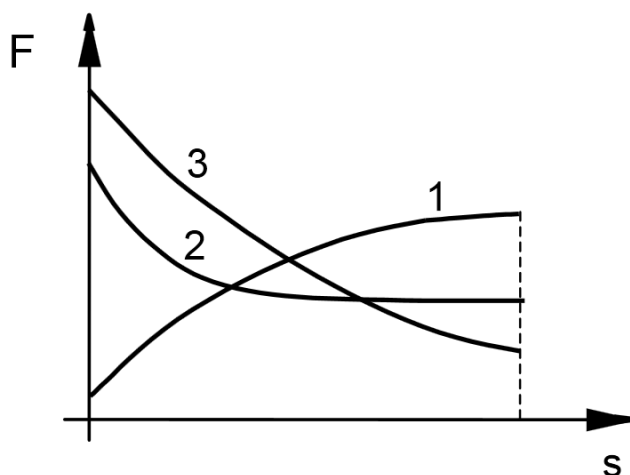
Teplota okolí - udává přípustné mezní teploty okolního prostředí, ve kterých je možné elektromagnet bezpečně a spolehlivě provozovat s deklarovanou životností.

Statická tahová charakteristika

$$F = f(s) \text{ při } I = \text{konst.}$$

Udává závislost tahové síly F na poloze kotvy s při konstantní hodnotě proudu.

Tahová síla – zdvih, platí pro elektromagnety s přímočarým pohybem.



Obrázek 7 Statická tahová charakteristika

V obrázku 7 rozlišujeme tři typické křivky:

- | | | |
|---|---|----------------------------|
| 1 | - | klesající charakteristika |
| 2 | - | konstantní charakteristika |
| 3 | - | rostoucí charakteristika |

Proudová charakteristika

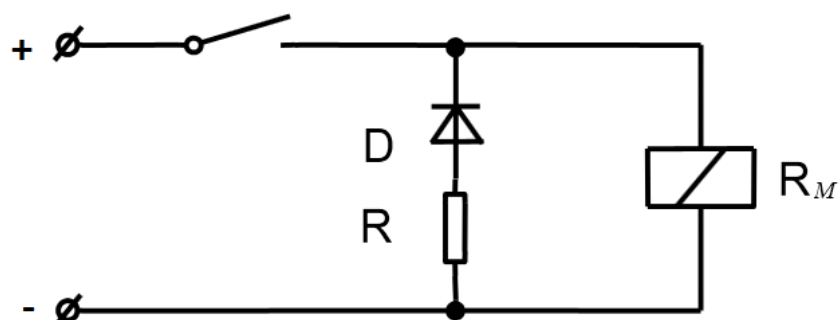
$$F = f(I) \text{ při } s = \text{konst.}$$

Udává závislost tahové síly na měnícím se proudu při konstantní poloze kotvy.

Ochranné opatření

Indukčnost cívky u elektromagnetických přístrojů se nepříznivě projeví při jejich vypínání vznikem přepětí, které může značně namáhat izolaci vinutí. Zvláště nepříznivě se projevuje u větších typových velikostí, vyššího napájecího napětí a vyšší hodnotě relativního zatěživatel. Ze zjištěných hodnot z praxe se může vytvořit při vypínání elektromagnetických přístrojů přepětí na cívce až 30-ti násobné hodnoty jmenovitého napájecího napětí.

Ochrana proti přepětí s diodou a odporem - využití pouze u stejnosměrných elektromagnetických přístrojů a stejnosměrných elektromagnetů s usměrňovačem (pro střídavé napájení). Ochrana proti přepětí je vždy připojena paralelně k cívce elektromagnetického přístroje.

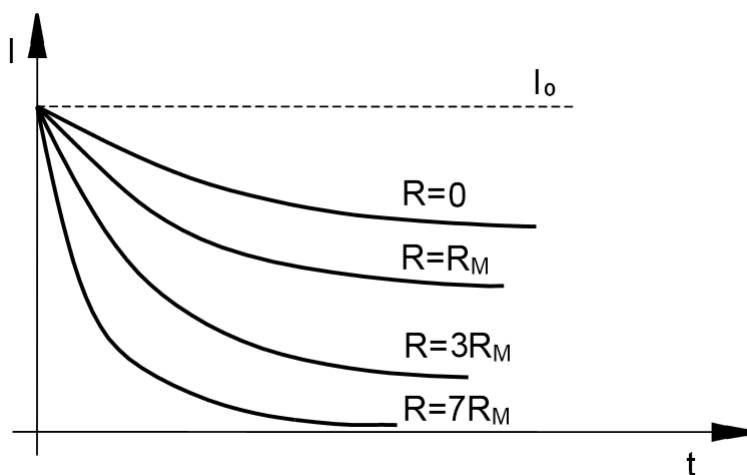


Obrázek 8 Ochrana proti přepětí s diodou a odporem

D	-	ochranná dioda
R	-	ochranný odpor
R _M	-	cívka elektromagnetu

$$I_0 = \frac{U}{R_M} \quad (2.9)$$

$$I = I_0 \cdot e^{-\frac{(R+R_M) \cdot t}{L_M}} \quad (2.10)$$



Obrázek 9 Průběh zániku proudu (platí pro přepětí)

Obrázek 9 nám ukazuje, jak velikost ochranného odporu ovlivňuje čas vybití elektromagnetu. Nejvhodnější varianta je pro $R = 7R_M$. Výkonově je nutné dimenzovat odpor a diodu dle četnosti spínání, velikosti přepětí a odpínaného výkonu. Doba vybíjení se pohybuje řádově v sekundách.

2.7 Ovládací elektromagnety

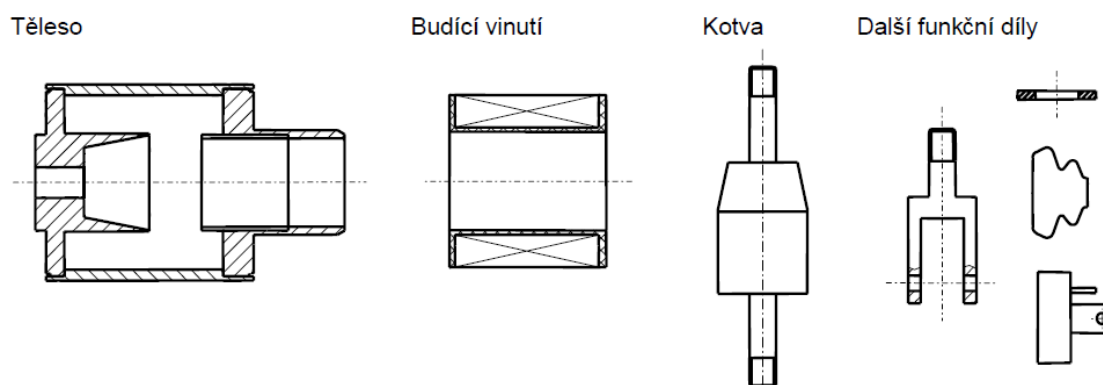
Jsou to elektromagnety sloužící k omezenému přímočarému nebo rotačnímu pohybu. Tyto přístroje se skládají z těchto hlavních dílů:

Těleso magnetu - je součástí magnetického obvodu a slouží k vedení magnetického toku. Může mít tvar válce nebo hranolu, s magnetickým obvodem uzavřeným, nebo magnetickým obvodem neúplně uzavřeným.

Budící vinutí - zajišťuje magnetický tok v magnetickém obvodu.

Kotva - je magneticky vodivá část, která se pohybuje nebo je přidržována magnetickým polem.

Další funkční díly - jsou konektory, svorkovnice, prachovky, permanentní magnety, pružiny, atd. dovybavují elektrický přístroj.



Obrázek 10 Hlavní části ovládacího elektromagnetu

Rozdělení:

- **zdvihové elektromagnety stejnosměrné a střídavé** vytváří působením magnetického pole přímočarý pohyb kotvy. Mohou být doplněny o permanentní magnety, které napomáhají přitahu a drží kotvu při do sedu bez napájení. Stejnosměrné od střídavých elektromagnetu se odlišují konstrukcí.
- **otočné elektromagnety** vyvolávají rotační pohyb působením magnetického pole vytvořeným budícím vinutím.
- **elektromagnetické ventily** svou konstrukcí umožňují ovládnutí ventilů na plynná a kapalná media. [9]

2.8 Břemenové elektromagnety

Slouží k přenášení a zdvihání těžkých břemen, proto musí mít co největší nosnost. Nosnost se rovná dvojnásobku přídržné síly jednoho pólu elektromagnetu. Nosnost elektromagnetu lze určit dle Faradaye. Magnetické indukční čáry v libovolném místě pole na jednotku plochy postavené kolmo na indukční čáry silou, která se číselně rovná hustotě energie magnetického pole v daném místě. Hustota energie magnetického pole je:

$$W = \frac{1}{2} \cdot B \cdot H \quad (2.11)$$

Je-li plocha pólu S a prochází-li N závitů proud I , přitahuje elektromagnet kotvu silou:

$$F = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot B \cdot H \cdot S = \frac{B^2}{\mu_0} \cdot S \quad (2.12)$$

Protože $\Phi = BS$, můžeme psát $F = \frac{\Phi^2}{\mu_0 \cdot S}$

Nebo použít Hopkinsonova vzorce:

$$F = \frac{N^2 I^2}{\mu_0 \cdot R_m^2 \cdot S} \quad (2.13)$$

Z výsledku vyplývá, že nosnost elektromagnetu je přímo úměrná čtverci proudu a nepřímo úměrná velikosti plochy pólů. [2]

Druhy břemenových elektromagnetů:

- Kruhové elektromagnety
- Obdélníkové elektromagnety
- Speciální elektromagnety

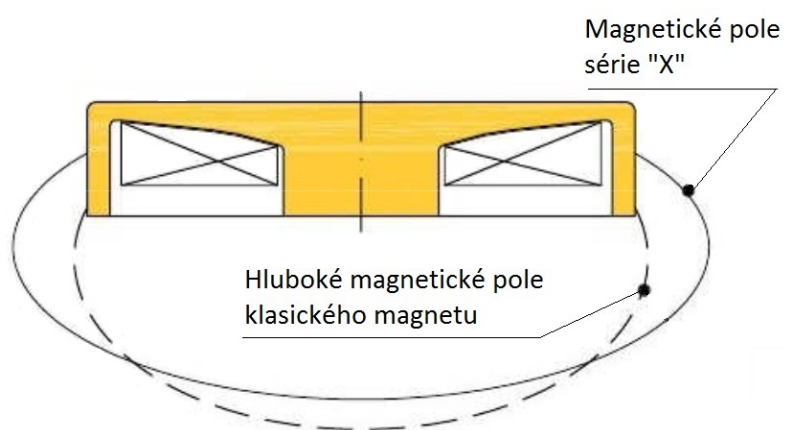
Kruhové elektromagnety - vyznačují se velmi nízkou konstrukcí. Jsou vyrobeny z ocelového vinutí a servisním cyklem 75% ED, což znamená, že budou napájeny po dobu 7 a půl minuty a poté budou na 2 a půl minuty odpojeny v rámci kompletního 10 minutového cyklu. Speciální tvar cívky a její kónické vinutí kolem centrálního jádra elektromagnetu, zvětšují průměr působení magnetického pole a magnetickou indukci za hranu samotného elektromagnetu. Externí pole je vhodné při manipulaci s kovovým šrotem.

Konstrukce:

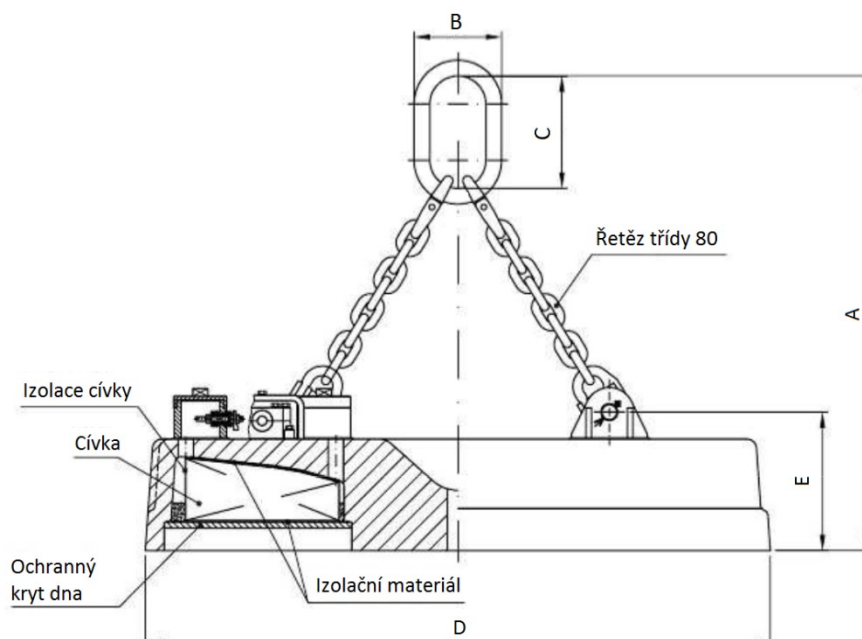
- Robustní konstrukce.
- 75% pracovní cyklus.
- Navinutá cívka z hliníku nebo mědi podle kapacitních požadavků.
- Ocelový svařovaný kryt.
- Dvojitý spodní plech standardně z nerezové oceli a manganové oceli.
- Odolná svorkovnice rozdělená na dva samostatné oddíly.
- Izolační materiály třídy dle Tabulky 2.

Tabulka 2 Třídy teplotní odolnosti elektrické izolace

Tepelná třída izolačního systému [°C]	Nejvyšší oteplení vinutí [K]
105 (A)	60
120 (E)	75
130 (B)	80
155 (F)	100
180 (H)	125



Obrázek 11 Řez kruhovým elektromagnetem



Obrázek 12 Řez břemenovým kruhovým elektromagnetu

- Kruhový elektromagnet ultralehký (X)
- Kruhový elektromagnet lehký (N)
- Kruhový elektromagnet (S)
- Kruhový magnet pro vysoké teploty (ST)
- Kruhový magnet (SR)
- Kruhový elektromagnet - speciální (E)
- Kruhový elektromagnet - kuželová cívka (CS)

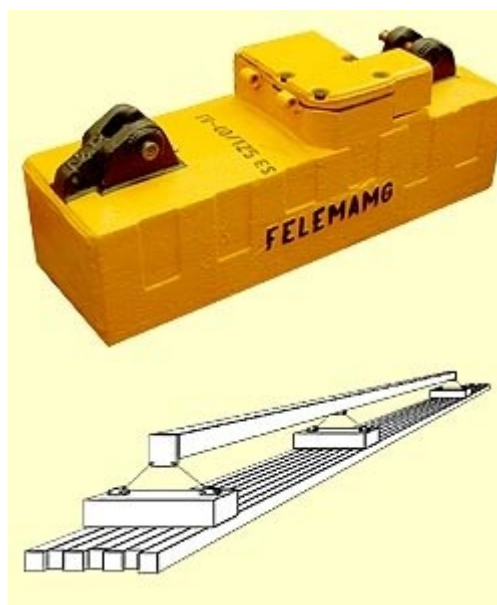


Obrázek 13 Kruhový elektromagnet

Obdélníkové elektromagnety - vyznačují se vysokou magnetickou kapacitou a mechanickou pevností. Servisní cyklus 75% ED. Cívka je vyráběna z mědi nebo hliníku. Jsou odolné, silné, ideální k intenzivní manipulaci s těžkými břemeny.

Konstrukce:

- Magnetický obvod ve tvaru E
- Svařovaná kostra z ocelových plechů s vysokou magnetickou schopností
- Tepelná izolace, třída H
- Vnější hořčíkový kryt
- Vhodný pro manipulaci s deskami, plechy a různých profilů.



Obrázek 14 Obdelníkový elektromagnet

- Obdélníkový elektromagnet (S)
- Obdélníkový elektromagnet - tepelný lehký (CT)
- Obdélníkový elektromagnet - lehký (C)
- Obdélníkový elektromagnet - S - vysoké teploty (ES)
- Obdélníkový elektromagnet (SRS)
- Obdélníkový elektromagnet - RS - vysoké teploty (SRST)

Speciální elektromagnety – jsou to elektromagnety opatřeny speciálním systémem, který má za úkol vyrovnat nerovnosti břemene. Magnetické pole vždy prostupuje zvedaným materiálem, a tím dochází k bezpečnému uchycení a manipulaci s břemenem. Pro různě dlouhé břemena je možné elektromagnety upevnit na traverzy za sebe. Tyto elektromagnety jsou určeny speciálně pro různé druhy a tvary břemene. [14]

- Speciální elektromagnet pro pásovinu (FC-30)
- Speciální elektromagnet k otáčení bram (FES)
- Speciální elektromagnet na profily (FBL)

- Speciální elektromagnet na kotouče drátů (FRR)
- Speciální elektromagnet na balíky trubek (FSRT)
- Speciální elektromagnet na svazky tyčí (FSRV)
- Speciální bipolární elektromagnet (FB)
- Speciální elektromagnet pro plechové svitky - vertikálně zvedané (FRM)
- Speciální elektromagnet na kotouče plechů (FRB)
- Speciální elektromagnet na kotouče plechů (FRBC)
- Speciální elektromagnet na ingoty (FBD)



Obrázek 15 Speciální elektromagnet na kotouče plechů

Traverzy

Používají se pro zavěšení jednoho či více elektromagnetů v závislosti na velikosti a typu materiálu, se kterým bude manipulováno (plechy, profily, trubky, atd.).



Obrázek 16 Traverza pro připevnění elektromagnetu

Tvary a velikosti nosníků jsou různé typy:

Vetknutý nosník - Jedná se o pevný, délkově nastavitelný nosník tak, aby vyhovoval rozměrům materiálu, se kterými bude manipulováno. Použití se dvěma nebo více elektromagnety.

Manuální teleskopické nosníky - Jedná se o nastavitelný nosník, jehož délka může být libovolně upravena. Nosník umožňuje ruční nastavení délky. Jeho délka, kdy bude buď zcela otevřený, nebo zavřený, se stanoví na základě vlastností manipulovaného materiálu. Tento nosník může být použit ve všech aplikacích se dvěma nebo více elektromagnety.

Elektro - hydraulický teleskopický nosník - Tento nosník má stejnou charakteristiku jako výše uvedený manuální nosník. Jediný rozdíl je, že otevírání a zavírání probíhá automaticky. Ovládání pomocí tlačítka klávesnice nebo ovládací skříně. Vlastnosti nosníku jsou určeny na základě manipulovaného materiálu. Je možné použití se dvěma či více elektromagnety.

Nosník s bezpečnostní rukou - Pevný nebo teleskopický nosník s kontrolní bezpečnostní rukou, která brání náhodnému uvolnění nákladu. Bez břemene, jsou ruce plně otevřeny. Je-li magnet zatížen, aktivuje se řídicí jednotka, která spustí mechanické zavírání rukou, s cílem zajistit větší bezpečnost manipulace. Za normálních okolností jsou používány pro velké náklady, jako jsou svazky trubek, tyče, atd. [14]

2.9 Účinky na lidský organismus

Dosud nebyl prokázán škodlivý vliv magnetického pole na člověka oproti např. rentgenovému záření. V medicíně se využívá magnetického pole např. k diagnostice (NMR- nukleární magnetická rezonance). Některé metody využívají rovněž působení magnetického pole z permanentních magnetů nebo elektromagnetů k fyzioterapii. V současné době se jedná spíše o alternativní medicínu. Pro osoby s kardiostimulátorem nebo jiným citlivým elektronickým zdravotním přístrojem platí zákaz manipulace s magnety a přiblížení se k nim na vzdálenost menší než 0,5 metru.

3 Zdroje pro napájení

Zdroje pro napájení a řízení břemenových elektromagnetů musí splňovat hlavní požadavek, a to je bezpečnost. Je důležité, aby nedocházelo k výpadku napájení do elektromagnetu. Jedním z řešení je použití záložního zdroje nebo permanentních elektromagnetů.

Napájení břemenových elektromagnetů určených k manipulaci s feromagnetickými materiály je zajištěno pomocí stejnosměrného zdroje. Zařízení je využíváno hlavně v průmyslových odvětvích. Proto je zařízení navrženo s dostatečným krytím, aby odolalo nepříznivým vnějším vlivům. Záloha napětí se provádí pomocí olověných akumulátorů. Tento systém napájení se nazývá magnet controller (MACO).

Používají se hlavně stejnosměrné elektromagnety. Důvodem použití je již známý a technologicky jednodušší způsob napájení.

Použitím střídavých elektromagnetů se značně komplikuje možnost použití záložního zdroje.

3.1 Napájecí zdroj MACO

Zdroje MACO jsou větších rozměrů a hlavní napájení je pomocí transformátorového zdroje. Díky tomu lze zařízení uzpůsobit různým výkonům. Zařízení umožňuje využití více funkcí pro komfortní použití. Provedení je bez bateriové zálohy a pro zajištění bezpečnosti pro případ výpadku napětí s bateriovou zálohou.

Funkce zdroje

- Magnetizace stejnosměrným proudem
- Zrychlená řízená plná demagnetizace
- Tipování - krátkodobé zeslabení přitažné síly magnetu pro odhození přebytečného materiálu
- Kontrola přehřátí magnetu
- Kontrola izolačního stavu magnetu

Volitelné funkce

- Předvolba skupin magnetů
- Magnetizace a demagnetizace po skupinách
- Zátěžový test (až 10 stupňů) - snížení výkonu při zvedání břemene pro zajištění bezpečnosti při přenosu s maximálním výkonem
- Návrat do úrovně zátěžového testu - snížení úrovně magnetizace před demagnetizací pro snadnější manipulaci s magnetem ve stísněných železných prostorách
- Otáčení a vysouvání nosné traverzy
- Měření výstupních proudů ve skupinách
- Archivace poruch - až 1000 magnetizačních cyklů uloženo v paměti - délka cyklu, hodnoty proudu
- Dálkové monitorovací zařízení - telekomunikace
- Profibus

- Místní nebo rádiové ovládání
- Záloha více než 20 minut

Technické parametry

- Jmenovité napájecí napětí: 3 x 230V - 660V +5% / -5%, 50/60Hz
- Výstupní napětí: 10V DC až 500V DC
- Jmenovitý výkon 1kW až 50kW
- Velikosti skříní: dle výkonu zdroje
- Krytí: IP54
- Materiál: ocelová uzavřená svařovaná skříň
- Barva: polyester, prášková technologie
- Odstín: RAL7035 nebo RAL7032
- Provedení: vnitřní nebo venkovní
- Pracovní teploty -20°C až +55°C

Bezpečnost

Hlídaní jakékoliv odchylky od jmenovitého napětí v případě výpadku jedné fáze, nebo poklesu napětí v síti. Tyto stavy jsou akusticky a opticky signalizovány.

Obvody a funkčnost zálohy jsou testovány vždy při zapnutí magnetizace. V případě poruchy je proces magnetizace zastaven. Průběžně je kontrolováno zemní spojení magnetu, v případě vzniku poruchy je signalizováno a zabráněno další magnetizaci. Aby se eliminovalo přehřátí magnetu, jsou měřeny proudy a délka trvání magnetizace.

Vyrábí se také redundantní, tedy zdvojené provedení zdrojů, pro použití v přístavech nebo jiných vysoce exponovaných místech.

Záloha

Záloha je zajištěna gelovými bateriemi. Baterie jsou nabíjeny a udržovány na plné kapacitě vysokofrekvenčním nabíjecím zdrojem s nastavenou nabíjecí charakteristikou. Tím je zajištěna jejich maximální životnost. Stav baterie je vždy otestován při zátěži. Součástí obvodů zálohy je ochrana proti hlubokému vybití baterie.

Ovládání

Po zapnutí magnetizace dochází k připojení silových obvodů k napájecím obvodům a elektromagnet přitáhne břemeno. Aby měla obsluha možnost ovlivnit počet přenášených kusů, je ovládání doplněno funkcí tipování. Podle délky signálu, tedy stlačení odpadávají od magnetu nepotřebné kusy přenášeného materiálu. Po aktivaci demagnetizace je systém odpojen od sítě a magnet je zrychleně vybíjen přes vybíjecí odpory. Při procesu demagnetizace dochází k přepólování stejnosměrného výstupu k magnetům a provede se krátká demagnetizace magnetu napětím opačné polaritě a snížené intenzity. Tímto dojde k úplnému vyčištění aktivní plochy

magnetu od zbytkového magnetismu. Magnet je automaticky připraven k další činnosti. Je-li zařízení vybaveno funkcí zátěžový test, dojde po jeho aktivaci ke snížení magnetizace po každém nabrání břemene na 70% přídržného výkonu, následně k navýšení na plný výkon a k odblokování pojezdu jeřábu. Tento proces je z důvodu bezpečné přepravy materiálu. Výkon magnetizace může být předem navolen až v deseti stupních magnetizace. Práce se skupinami magnetů je umožněna v plném rozsahu standardních i volitelných funkcí pro každou skupinu samostatně.

Signalizace

Jednotlivé stavy zařízení jsou indikovány opticky majáky nebo signalizačními prvky v kabině jeřábu v kombinaci s akustickou signalizací. Funkce signalizace může být prověřena stiskem tlačítka. [13]

Použití

- Slévárny
- Šrotiště
- Nakládání a vykládání železničních kontejnerů
- Sklárny kovového odpadu
- Válcovny
- Manipulace s plechy ve výrobních linkách
- Sklady

3.2 Napájecí zdroj MACOdrive

Zdroje MACOdrive jsou regulovatelné napájecí zdroje jeřábových elektromagnetů s řízeným čtyřkvadrantovým měničem Simoureg DC Master s dynamickou demagnetizací pomocí rekuperace do sítě. Umožňují komfortní funkce řízení elektromagnetu s plynulým řízením výkonu magnetizace a s rychlou demagnetizací. Dodávají se v široké výkonové řadě v provedení bez zálohy nebo pro zajištění vyšší bezpečnosti s bateriovou zálohou, která zajišťuje nepřetržité napájení. Jsou vhodné pro systémy magnetů větších výkonů 5kW až 40kW. Zdroj MACOdrive má kompaktní rozměry do výkonu 10kW lze použít pouze jednu skříň včetně bateriové zálohy.

Funkce

- Magnetizace stejnosměrným proudem
- Rychlá řízená demagnetizace rekuperací energie
- Tipování - krátkodobé zeslabení přítažné síly magnetu pro odhození přebytečného materiálu
- Zátěžový test pevný nebo plynule nastavitelný – snížení úrovně magnetizace před demagnetizací pro snadnější manipulaci s magnetem ve stísněných železných prostorách
- Návrat do úrovně zátěžového testu - zajišťuje snadnější manipulaci s magnetem ve stísněných železných prostorách při přiblížení magnetu
- Kontrola přehřátí magnetu – 30-ti minutová kontrola zapnutí magnetu

Volitelné funkce

- Předvolba skupin magnetů
- Měření výstupních proudů ve skupinách
- Archivace poruch - až 1000 magnetizačních cyklů uloženo v paměti – délka cyklu, hodnoty proudu
- Otáčení a vysouvání nosné traverzy
- Dálkové sledovací zařízení - telekomunikace
- Profibus
- Místní nebo rádiové ovládání
- Záloha více než 20 minut

Technické parametry

- Jmenovité napájecí napětí: 3 x 400 - 575V +15% / -20%, 50/60Hz
- Výstupní napětí: 0V DC až 500 V DC
- Jmenovitý výkon: 5kW až 50kW
- Velikosti skříní: dle výkonu zdroje
- Krytí: IP54
- Materiál: ocelová uzavřená svařovaná skříň
- Barva: polyester, prášková technologie
- Odstín: RAL7035 nebo RAL7032
- Provedení: vnitřní nebo venkovní
- Pracovní teploty -20°C až +55°C

Bezpečnost

U zdrojů MACOdrive je zálohová baterie off-line. Pokud v průběhu magnetizace dojde k výpadku napájecího napětí v síti, baterie je okamžitě připojena k magnetům a bez přerušení převezme napájení magnetů.

Hlídaní jakékoliv odchylky od jmenovitého napětí v případě výpadku jedné fáze, nebo poklesu napětí v síti. Tyto stavy jsou akusticky a opticky signalizovány.

Obvody a funkce zálohy jsou testovány periodicky při zapnutí magnetizace a v případě poruchy je proces magnetizace zastaven.

Pro prevenci přehřátí magnetu jsou současně měřeny proudy a délka trvání magnetizace. Vyrábí se také redundantní provedení zdrojů pro použití v přístavech nebo jiných vysoce exponovaných místech.

Záloha

Záloha pomocí baterii je zajištěna stejně jako pro napájecí zdroj MACO

Ovládání

Při povelu magnetizace dochází k aktivaci DC měniče, který byl v pohotovostním režimu. Měnič napájí magnet krátkodobě zvýšeným napětím tak, aby bylo dosaženo maximální úrovně magnetizace.

V případě požadavku zátěžového testu je magnet napájen sníženým napětím (pevně nastaveným nebo plynule regulovatelným). Při obdržení signálu o zdvihu jeřábu nebo uplynutím nastaveného času testu, měnič napájí magnet maximálním výkonem. Zátěžový test a výkon měniče je plynule nastavitelný potenciometrem.

Funkce tipování pro odložení nežádoucího materiálu je prováděna snížením výstupního napětí měniče. Podle délky stisknutí tipovacího tlačítka, plynule klesá napětí až na 0V DC. Podle druhu aplikace lze tímto způsobem odložit jednotlivé přenášené plechy. Při navážení šrotu lze tímto způsobem dávkovat množství šrotu do kontejneru sléváren. Rychlost snižování úrovně tipování je nastavena v programu řídicího systému.

Demagnetizace je prováděna měničem, proto je rychlejší než při kombinaci spínání obvodů demagnetizace a depolarizace spínacími prvky. Práce se skupinami magnetů je možná pouze v režimu předvoleb.

Signalizace

Jednotlivé stavy jsou signalizovány stejně jako u zdrojů MACO.

Použití

Použití zdroje je shodné stejně jako u zdrojů MACO.

3.3 Napájecí zdroj MACO perm

Napájecí zdroje MACOperm jsou určeny pro technologii napájení a řízení permanentních elektromagnetů. Napájení magnetu je zajištěno řízeným čtyřkvadrantovým DC měničem. Elektropermanentní magnety mají tu vlastnost, že při výpadku elektrické energie, nebo poškození kabelu zůstávají zmagnetizovány. Díky tomu není potřeba záložních baterií. Napájecí zdroje MACO perm umožňují komfortní obsluhu elektropermanentních magnetů včetně regulace přídržné síly a rychlé demagnetizace. Magnetizace se aktivuje pulzem napětí z měniče v trvání několika sekund. Druhým pulzem obrácené polarity je provedena demagnetizace.

Funkce

- Rychlá magnetizace zvýšeným napětím
- Rychlá řízená úplná demagnetizace

- Tipování - krátkodobé zeslabení přitažné síly magnetu pro odhození přebytečného materiálu
- Zátěžový test pevný nebo plynule nastavitelný – snížení úrovně magnetizace před demagnetizací pro snadnější manipulaci s magnetem ve stísněných železných prostorách
- Návrat do úrovně zátěžového testu - zajistí snadnější manipulaci s magnetem ve stísněných železných prostorách při přiblížení magnetu
- Kontrola přehřátí magnetu – 30-ti minutová kontrola zapnutí magnetu

Volitelné funkce

- Předvolba skupin magnetů
- Měření výstupních proudů ve skupinách
- Archivace poruch - až 1000 magnetizačních cyklů uloženo v paměti – délka cyklu, hodnoty proudu
- Otáčení a vysouvání nosné traverzy
- Dálkové sledovací zařízení - telekomunikace
- Profibus
- Místní nebo rádiové ovládání

Technické parametry

- Jmenovité napájecí napětí: 3 x 400 - 575V +15% / -20%, 50/60Hz
- Výstupní napětí: 0V DC až 340V DC
- Jmenovitý výkon: 15kW až 80kW
- Velikosti skříní: dle výkonu zdroje
- Krytí: IP54
- Materiál: ocelová uzavřená svařovaná skříň
- Barva: polyester, prášková technologie
- Odstín: RAL7035 nebo RAL7032
- Provedení: vnitřní nebo venkovní
- Pracovní teploty -20°C až +55°C

Bezpečnost

Zdroje MACOperm používají elektropermanentní magnety. Bezpečnost je zajištěna především fyzikálním principem těchto magnetů, které po magnetizaci zůstávají zmagnetizované, až do následné demagnetizace. K zabezpečení dostatečné přídržné síly pro přenos materiálu slouží zátěžový test, kdy je na nabrání přenášeného materiálu použita snížená přitažná elektromagnetická síla a následně, před pojezdem, je přitažná síla zvýšena na maximum.

Záloha

Díky vlastnostem a konstrukci tohoto typu magnetu není záloha nutná.

Ovládání

Při magnetizaci je magnet napájen krátkodobě napětím z DC měniče, až do dosažení plného výkonu magnetu. Měnič je poté uveden do pohotovostního režimu.

Funkce tipování pro odložení nežádoucího materiálu je prováděna obvody měniče tak, že je magnet napájen napětím obrácené polarity než při magnetizaci. Nastavení úrovně tohoto napětí je součástí programu v PLC a parametrizace měniče.

Demagnetizace je zajištěna obvody měniče, nastaveným napětím obrácené polarity až do úplného odmagnetování aktivní plochy magnetu. Magnet je automaticky připraven k další činnosti.

Práce se skupinami magnetů je možná pouze v režimu předvoleb.

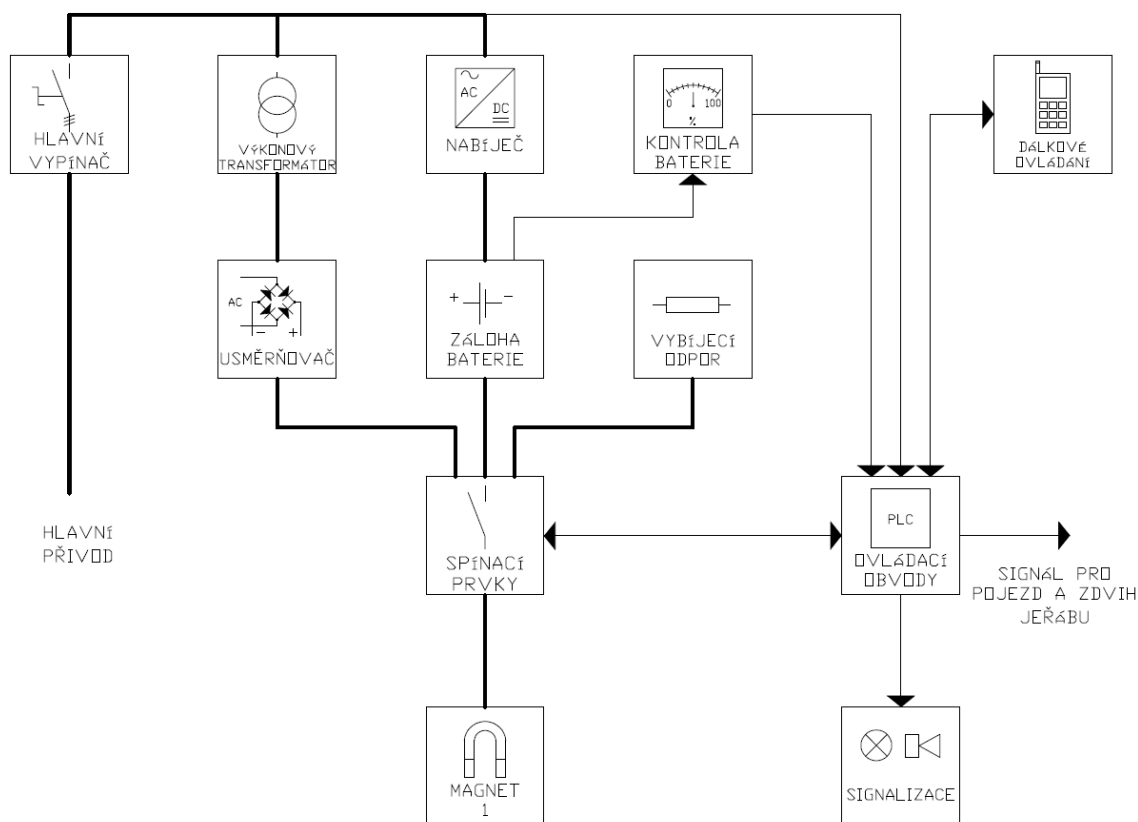
Signalizace

Signalizace jednotlivých stavů jsou indikovány stejně jako předchozí zdroje. [13]

Použití

- Slévárny
- Šrotiště
- Nakládání a vykládání železničních kontejnerů
- Sklárky kovového odpadu
- Válcovny
- Manipulace s plechy ve výrobních linkách
- Sklady
- Ropné plošiny

3.4 Popis návrhu zařízení



Obrázek 17 Blokové schéma zdroje

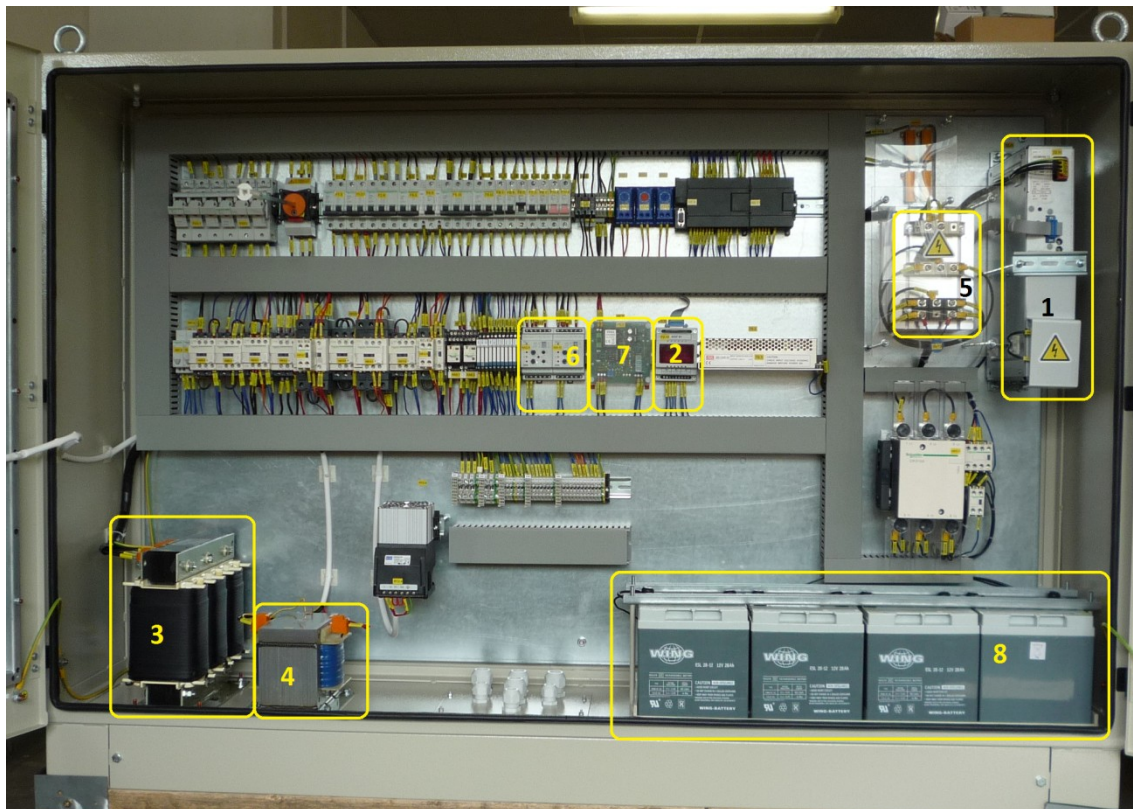
Obrázek 17 nám znázorňuje jakým způsobem je zdroj interně situován. Hlavním přívodem napájíme celý rozvaděč. Odtud se napájení dělí na pomyslné tři paprsky, napájení výkonového transformátoru, nabíječe a ovládacího obvodu. Napětí z třífázového výkonového transformátoru se usměrňuje pomocí diodového můstku na hodnotu stejnosměrného napětí elektromagnetu a poté pomocí spínacích prvků je ovládán a spínán elektromagnet. Řiditelný napájecí zdroj slouží pro nabíjení záložních baterií. Baterie jsou monitorovány a udržovány při plném nabití. Nastavené mezní hodnoty a jejich překročení je vyhodnocováno programovatelným automatem PLC. Třetí paprsek slouží pro napájení ovládacího obvodu a příslušenství zdroje. Pomocí PLC řídíme celé zařízení. Na vstupy přivádíme potřebné signály a na jejich základě výstupy signalizují a spínají spínací prvky, které řídí elektromagnet. Vybíjecí odpory slouží pro absorpci nahromaděné energie elektromagnetu při vypínání.

3.5 Napájecí zdroj

Na základě známých parametrů elektromagnetu a požadavcích provozovatele se vytvoří napájecí zdroj. Zařízení lze pomyslně rozdělit na tři části tzv. paprsky:

- Ovládací obvod

- Napájecí obvod elektromagnetu
- Napájecí obvod elektromagnetu ze zálohových baterií



Obrázek 18 Rozvaděčová skříň napájecího zdroje

Seznam prvků rozvaděčové skříně napájecího zdroje:

1. Říditelný napájecí zdroj AX3MV96.T2

Spínaný zdroj AC/DC měnič – zdroj stejnosměrného napětí a proudu. Univerzální říditelný modul je napájen z třífázové sítě 400V. Má galvanicky oddělené vstupy a výstupy. Je možné nastavit výstupní napětí a proud v širokém rozsahu. Zdroj je možné provozovat autonomně s nastavením pomocí zabudovaných trimrů, nebo s dálkovým řízením pomocí běžných průmyslových signálů. Zdroj má možnost samostatného nebo paralelního chodu. Hlavní využití zdroje je dobíjení záložních baterií, které napájejí elektromagnety.

2. AXIF91

Interface pro nabíječe, neboli říditelný napájecí zdroj, propojený pomocí 15-pin konektoru. Pomocí kontaktů signalizuje minimální proud jdoucí do zátěže (baterií). Při dosažení tzv. napětového režimu, napětí 109V, signalizuje dobíjení baterií. Velikost nabíjecího proudu je indikována sloupcem deseti LED.

3. Hlavní napájecí transformátor

Hlavní třífázový transformátor, který napájí břemenový elektromagnet.

4. Ovládací transformátor

Ovládací transformátor napájí ovládací obvod. Tento obvod je použit pro napájení programovatelného automatu PLC SIMATIC-S7200, ventilátorů, a dalších přídavných zařízení.

5. Diodový můstek 160MT160KB

Diodový můstek slouží k usměrnění třífázového napětí na jednofázové stejnosměrné napětí o hodnotě 110V. Na výstup připevňujeme varistor, který omezuje napěťové špičky, vznikající z důsledku spínání a rozpínání obvodu.

6. HRN-41/400

Hlídací napěťové relé je určeno pro hlídání DC i AC jednofázových napětí ve třech rozsazích. Kontroluje napětí ve dvou nezávislých úrovních (přepětí/podpětí).

7. AXHOB36

Slouží pro hlídání okruhu baterií.

8. Zálohové baterie

Zajišťují potřebnou bezpečnost u zálohovaného zdroje a slouží jako záloha při výpadku hlavního napájení.

3.6 Záloha zdroje

Jak již bylo zmíněno, slouží pro nepřetržité napájení stejnosměrného elektromagnetu při výpadku napájení. Dojde-li k výpadku hlavního napájení, dioda při rozdílu napětí připojuje přes stykač zálohy obvod s bateriemi. Časová prodleva připojení záložního napětí je velice malá. V případě plného převzetí napájení záložním zdrojem, je možné manipulovat s břemenem po dobu nezbytně nutnou. Tato doba se liší dle provozu (20-30 minut), ale musí být dostatečná pro bezpečné odložení břemene. Poté zařízení nedovolí znovu zapnout magnetování, dokud nebudou baterie plně nabity.

3.7 Návrh rozvaděčové skříně

Rozvaděčovou skříň navrhujeme tak, aby všechny přístroje bylo možné umístit do skříně. Z dlouholetých zkušeností lze rozměry odhadnout ihned. V druhém případě je potřeba nejprve navrhnout rozmístění jednotlivých komponentů a poté určit vhodný rozměr skříně. Vždy je lepší navrhnout větší rozměry skříně pro případ nečekaných změn v zadání, aby vzniklo více prostoru pro montáž prvků do zařízení.

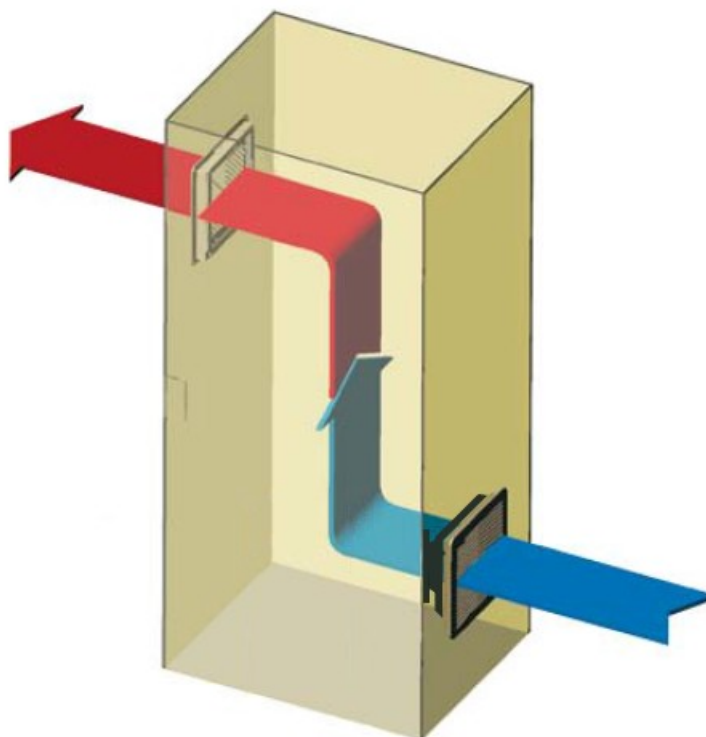
Napájecí zdroj se navrhuje tak, aby bylo zamezeno přístupu nekvalifikované obsluhy do interní části zdroje. Z tohoto důvodu je skříň opatřena uzamykatelnou klikou. Manipulace se zařízením je povolena pouze osobě kvalifikované dle vyhlášky č.50/1978 Sb. Interní část rozvaděče má krytí IP00, proto vzniká velké riziko dotyku s nebezpečným napětím.

Aby bylo možné dodržení stupně krytí IP54 celého zdroje, používají se na vstupní a výstupní kabely kabelové vývodky. Na základě použitých kabelů, je třeba navrhnout vhodné vývodky. Vývodek je veliké množství. Od plastových, po kovové různých průměrů.

3.8 Chlazení rozvaděčové skříně

Při návrhu vhodného chlazení je třeba respektovat fakt, že při použití ventilátoru zůstane výsledná vnitřní teplota vždy vyšší než okolní teplota.

Je vhodné umisťovat ventilátory do spodní části rozvaděčové skříně, aby do ní proudil chladný vzduch a ve skříni se tvořil mírný přetlak. Tím dosáhneme toho, že vzduch proudí do skříně jen přes mřížku s filtrem, tedy bez nečistot a vytlačuje ze skříně ohřátý vzduch přes výstupní mřížku s filtrem. V opačném případě, kdy ventilátor je umístěn jako odsávací, může pronikat do skříně vzduch a s ním nečistoty netěsnostmi skříně. Ventilátor by měl být umístěn ve spodní části skříně a mřížky co nejvýše. Protože teplý vzduch stoupá vzhůru a nebude se hromadit u stropu rozvaděčové skříně.



Obrázek 19 Průtok vzduchu rozvaděčem

Průtok vzduchu potřebný pro chlazení se vypočítá podle vzorce:

$$\text{Průtok vzduchu} = f \cdot \frac{Q}{\Delta T} \quad (3.1)$$

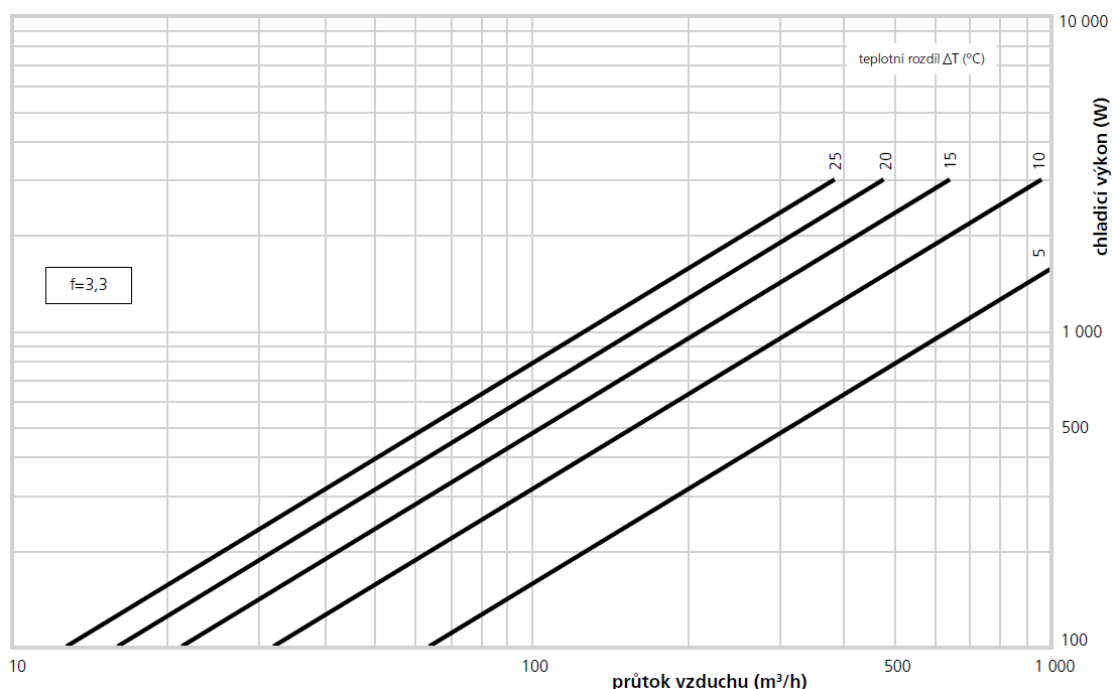
Průtok vzduchu je poměr mezi ztrátovým tepelným výkonem Q a rozdílem teplot ΔT , násobený koeficientem teplotního přenosu f , který zohledňuje fyzikální vlastnosti vzduchu jako měrné teplo a hustota, měnící se s nadmořskou výškou.

Koeficient f zvolíme dle nadmořské výšky, ve které bude rozvaděč pracovat. Hodnotu nám udává tabulka 3:

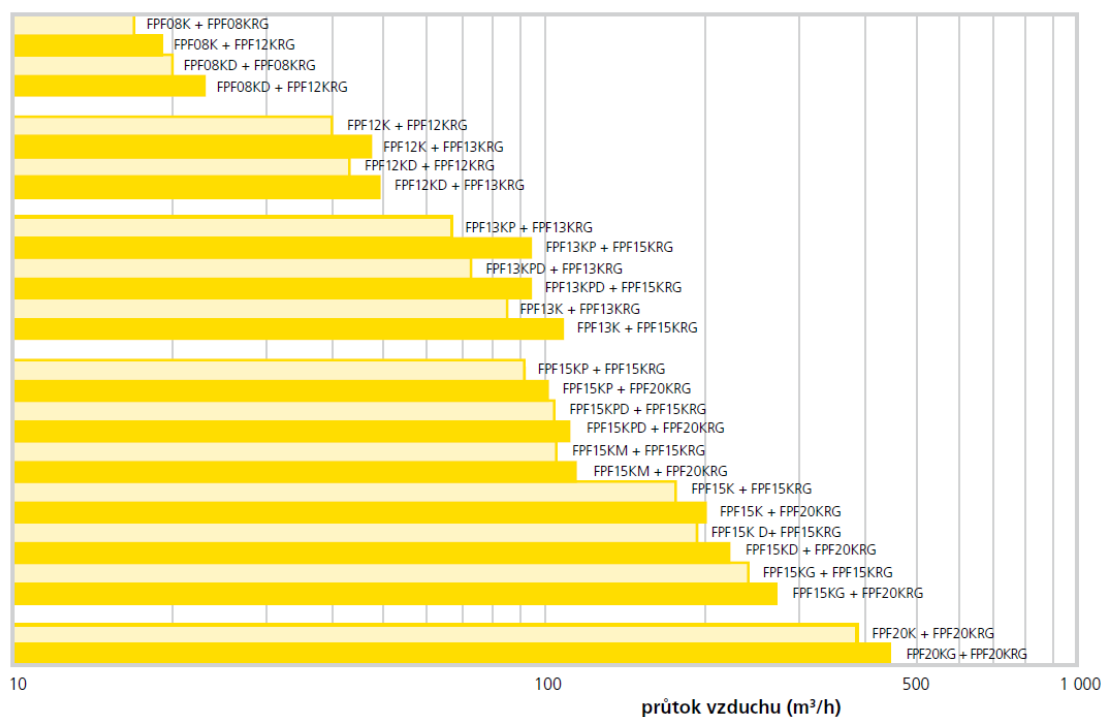
Tabulka 3 Hodnoty koeficientu f dle nadmořské výšky

Nadmořská výška [m]	$f [\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{Wh}^{-1}]$
0-100	3,1
100-250	3,2
250-500	3,3
500-750	3,4
750-1000	3,5

Teplotní rozdíl mezi venkovní T_e a vnitřní T_i teplotou je třeba stanovit. Z důvodů maximální teploty venkovního prostředí, vnitřní teplota rozvaděče nesmí přesáhnout 55°C , kvůli přehřátí některých komponentů, konkrétně PLC a další.



Obrázek 20 Výběr ventilátoru dle parametrů [15]



Obrázek 21 Typ ventilátoru dle potřebného průtoku vzduchu [15]

3.9 Jištění zařízení

Jistící přístroje musí odolávat účinkům zkratových proudů. To zaručuje odpovídající vypínací schopnost. Vypínací časy musí být dostatečně krátké, aby teplota vodičů nepřesáhla dovolenou teplotní mez.

Jištění proti přetížení a proti zkratu jistícím přístrojem

$$I \geq I_{np} / K_p \quad (3.2)$$

I [A]	-	dovolený proud vodiče
I_{np} [A]	-	jmenovitý proud jistícího prvku
K_p [-]	-	součinitel zohledňující typ, uložení a seskupení vodičů

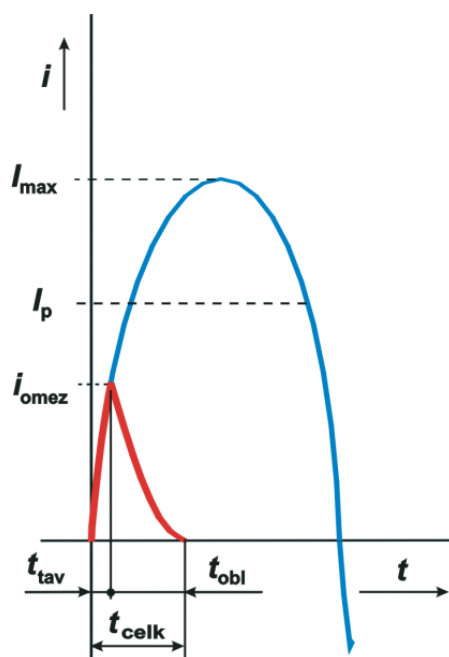
Selektivní působení jistících přístrojů

Rozvod elektrické energie je tvořen tzv. rozvětvenou paprskovou sítí. Tato síť je složena z jistících prvků řazených za sebou. Hlavní důvod selektivity je minimalizace výpadku elektrické energie. Dojde-li ovšem k poruše je důležité, aby se projevila v co nejmenší části rozvodu. V důsledku nadproudu či zkratu, dochází k odpojení vadného místa pouze jistícím prvkem, který je nejbližší nadřazený místu poruchy směrem ke zdroji. Tím dojde k zajištění chodu zbývajících soustav.

Selektivitu řetězce přístrojů nelze ve většině případů posoudit v požadovaném rozsahu proudu, ale jen na základě průběhu vypínacích charakteristik. Pro velké hodnoty nadproudů je třeba selektivitu ověřit zkouškami. V některých případech jsou hodnoty zkouškami nepříznivější, v jiných naopak příznivější. Je tomu tak proto, že jednotlivé jistící přístroje mají v oblasti velkých nadproudů své specifické vlastnosti vlivem principu působení a konstrukčního řešení. To jsou např. rozdílné reakční doby nebo energie potřebné k reakci vypnutí přístroje a případné omezovací schopnosti proudu.

Pojistka

K vypínání proudu pojistkou dochází na základě přetavení jejího tavného vodiče. energii potřebnou pro přetavení vodiče charakterizuje tzv. Jouleův tavný integrál ($I^2 \cdot t$). Tavná energie tvoří jen část celkové energie, která projde pojistkou při vypínání. Tuto celkovou energii charakterizuje Jouleův celkový integrál. Ten odpovídá celkové vypínací době pojistky t_{celk} , zahrnuje dobu tavení t_{tav} , a jí odpovídající integrál $(I^2 \cdot t)_{\text{tav}}$ a dobu hoření oblouku t_{obl} , a integrál $(I^2 \cdot t)_{\text{obl}}$, viz.: obrázek 22. Na něm je modrou čarou znázorněn průběh zkratového proudu, bez omezení. Červenou čarou je znázorněn průběh proudu, který je propuštěný omezujícím jistícím prvkem tzv. pojistkou.



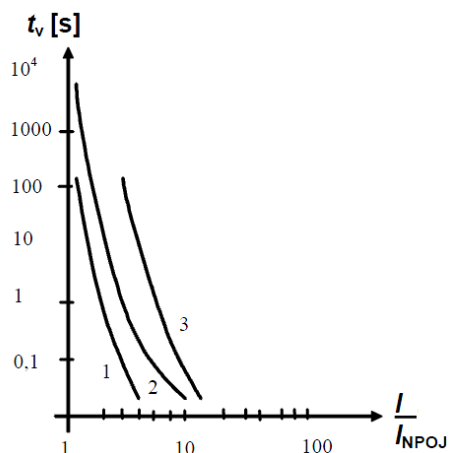
Obrázek 22 Průběh proudu při zkratu

Vlastnost pojistek vyznačuje ampérsekundová charakteristika. Ta vyznačuje, za jak dlouho při nadproudu určitého prvku pojistka vybaví. Používají se k jištění proti zkratu i proti přetížení. Dokážou vypínat velice rychle zkratové proudy, na druhé straně velice pomalu malé nadproudy. Vypínací charakteristiky pojistek dle Obrázek 23.

Typy pojistek

1. Velmi rychlá aR
2. Všeobecná gG
3. Pomalá - přístrojová aM

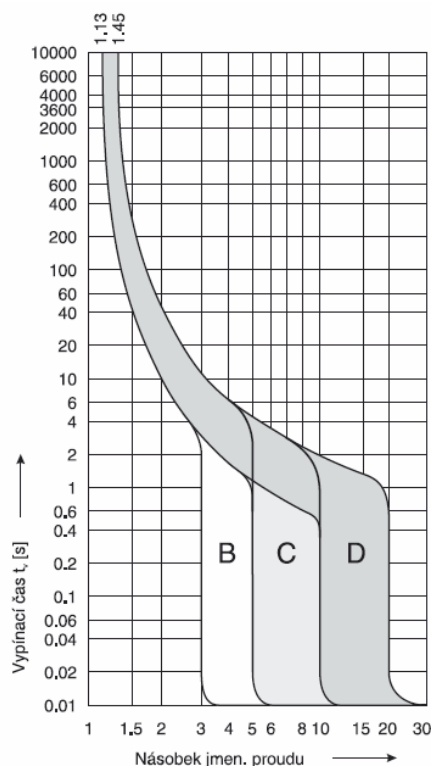
I [A] - proud tekoucí pojistkou
 I_{NPOJ} [A] - jmenovitý proud pojistky



Obrázek 23 Ampérsekundová charakteristika pojistek [16]

Jistič

Slouží k zabezpečení obvodu před přetížením, při kterém dochází k nežádoucímu oteplování vodiče. Přetížení vzniká vlivem průchodu většího proudu, bylo-li vedení dimenzováno na nižší jmenovitý proud. Jistič obsahuje elektrotepelnou a elektrodynamickou spoušť. Elektrotepelná spoušť je řešená bimetalovým páskem, který na základě oteplení vodiče reaguje a vypíná zařízení. Elektromagnetická spoušť jistí proti zkratům, ale zároveň nemá omezovací schopnost jako pojistka.



Obrázek 24 Vypínací charakteristika jističe

Jištění transformátorů

Ke správnému jištění je třeba znát fyzikální princip funkce transformátoru, jeho štítkové údaje, a to zejména jmenovitý proud, napětí primárních a sekundárních stran a napětí nakrátko. Maximální provozní proudy a nárazový (zapínací) proud, jehož průběh tvoří časově rychle klesající exponenciála. Vrcholová hodnota nárazového proudu dosahuje až čtrnáctinásobku jmenovitého proudu I_N . Tento zapínací proud je přechodový a doba zániku je závislá na konstrukci a výkonu transformátoru. Hodnota nárazového zapínacího proudu je závislá i na hodnotě napětí v okamžiku zapnutí. Největší hodnota nárazového proudu nastává při zapnutí transformátoru v čase, kdy napětí je blízké nule a naopak.

Primární stranu transformátoru jistíme hlavně proti zkratu, proto používáme převážně pojistky, nebo jističe pomalé charakteristiky.

Sekundární stranu transformátoru vybavujeme převážně jističem, který je vybaven proudově závislou ochranou (s inverzní charakteristikou) proti přehřátí transformátoru nadproudem a zkratově nezávislou ochranou reagující mžikově v čase. Jističe současné i předcházející generace mají široké rozmezí nastavení parametrů vypínacích hodnot proudů, což při jejich správném nastavení umožňuje dosáhnout dobré selektivity působení, tj. zajistit vypnutí transformátoru pouze v případě poruchy příslušného chráněného úseku.

3.10 Dimenzování vedení

Na základě znalosti proudového zatížení obvodu a použitého jištění se určí dle přehledové tabulky dovolených proudů průřez vodičů [6]. Je třeba vzít úvahu uložení vodiče a provozní teplotu prostředí, materiál vodiče a izolaci s ohledem na vnější vlivy, ekonomickou náročnost, chování při požáru, předpokládané použití apod. Tyto a další aspekty změny značnou mírou výsledný průřez vodiče.

Výpočet průřezu vodičů

Dostatečný průřez kabelu, který napájí břemenový elektromagnet lze odvodit z již zmíněné normy, dle přehledové tabulky dovolených proudů a oteplení, nebo vypočítat. Průřez elektrického vedení musí být takový, aby splňoval požadavky na dovolené oteplení, hospodárnost provozu, mechanickou pevnost, odolnost vůči účinkům zkratového proudu, dovolené dotykové napětí a musí mít spolehlivou funkci před úrazem elektrickým proudem.

Známe výkon, napětí a odebíraný proud elektromagnetu. Tyto hodnoty jsou dostačující pro návrh přívodního kabelového vedení.

Dovolené zatěžovací proudy

Při průchodu proudu vodičem dochází k jeho zahřívání. Vyvinuté teplo ve vodiči na jednotku délky je přímo úměrné odporu této délky vodiče R_v a druhé mocnině proudu tekoucího vodičem I_v . V ustáleném stavu se množství tepla vyvinutého ve vodiči rovná množství tepla předaného do jeho okolí a je přímo úměrné teplotnímu rozdílu mezi vodičem a okolím.

Teplota vodiče nesmí dlouhodobě překročit určitou hodnotu, při které by docházelo ke zkracování životnosti izolace. Izolace vodičů a kabelů je méně odolná než kovové vodiče, proto je nejvyšší dovolená teplota vodiče dána druhem izolace. Například PVC izolace má teplotní mez 70°C, XLPE izolace až 160°C.

Na oteplení vodiče má kromě velikosti protékaného proudu vliv i teplota okolí a možnosti odvodu tepla z povrchu vodiče, které jsou dány uložením vodiče tzv. referenční způsoby uložení vodičů, které slouží pro odvození zatěžovacích proudů vodičů a jsou uvedeny v již zmíněné normě. Zkrácenou podobu nám uvádí tabulky 3 a 4.

Tabulka 4 Součinitel okolní teploty k .

Okolní teplota [°C]	Izolace	
	PVC	XLPE
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,5	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,5
80	-	0,41

Tabulka 5 Jmenovitý proud I_N jednožilových vodičů

Jmenovitý průřez žíly [mm²]	Měď (Cu)		
	Jmenovitý proud [A]	Povrchová teplota [°C]	Časová oteplovací konstanta [s]
1	19	65	36
1,5	24		47
2,5	33		64
4	45		78
6	58		93
10	81		130
16	109		165
25	146		220
35	181		260
50	219		330
70	281		380

Pro určení výsledného průřezu vodiče musíme uvažovat s maximální provozní teplotou. Výsledný maximální dovolený proud určíme ze vztahu:

$$I_{dov} = I_N \cdot k \quad (3.3)$$

Napájecí kabel

Pro napájení břemenových elektromagnetů je potřeba zvolit vhodný kabel. Jedno řešení se nabízí použitím kabelu navíjejí se na bubny. Je speciálně určen pro závěsné užití, díky tomu není nutné řešit délku, kde by mohlo dojít k přetržení vlastní vahou. Kromě klasických měděných žil obsahuje ve středu kabelu nosný textilní orgán vysoké pevnosti. Při návrhu je třeba brát na zřetel součinitel oteplení vodiče namotaného v kabelovém bubnu. Dle internetového katalogu je možné kabel použít do teploty 50°C při flexibilním uložení. Dále je vhodné dvojvodičové vedení. Dochází-li v provozu k poškození kabelu, dvojvodičové vedení nám zajišťuje menší pravděpodobnost přerušení a dochází k menšímu oteplení. Zároveň je třeba brát ohled na cenu kabelu a nutnost duplikace. [17]

Maximální délka kabelu a úbytek na vedení k elektromagnetu

Úbytek napětí na přírodním vedení k elektromagnetu by neměl být vyšší než 5% z napájecího napětí. Vyšší úbytek napětí snižuje celkový výkon elektromagnetu.

Celkový úbytek napětí se vypočítá dle vztahu:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot l \cdot P}{\gamma \cdot S \cdot U} \quad [\%; m, W, \frac{Sm}{mm^2}, mm^2, V] \quad (3.4)$$

ΔU [%]	–	celkový úbytek napětí
l [m]	–	délka vodiče
P [W]	–	příkon elektromagnetu
γ [S.m.mm ⁻²]	–	konduktivita – měrná elektrická vodivost Cu
S [mm ²]	–	průřez vodičů
U [V]	–	stejnoseměrné napětí soustavy

3.11 Spínací a ovládací prvky

Stykače

Jsou základním spínacím prvkem celého zařízení. Díky nim lze dálkově ovládat funkce celého zařízení. Jsou vyráběny pro širokou řadu výkonů. S ovládací cívkou na AC i DC napětí. Je možné spínat stejnosměrnou zátěž, zde je potíží v uhašení oblouku, řešení spočívá v zapojení kontaktů do série. U střídavé zátěže po přitahu vzroste indukčnost (vzduchová mezera) a sníží se proud. Při spínání jedné fáze je možné řadit kontakty paralelně, tím docílíme použití stykače s menší proudovou hodnotou. Důležité pro návrh je velikost a druh spínaného proudu, ten musí být menší, nebo roven jmenovitému proudu stykače. Není na škodu stykač předimenzovat, dojde k prodloužení jeho životnosti, ale na úkor ceny a velikosti. Při dimenzování stykače je možné zvolit stykač o nižším jmenovitém proudu, ale musíme brát ohled na čas v sepnutém stavu, při němž prochází proud kontakty. Jednotlivé možnosti stykače jsou v katalogu. [18]

Odrušovací členy

Protože jsou stykače spínány přímo z výstupu PLC, z důvodu rušení v součinnosti všech konstrukčních dílů, může být nepříznivě ovlivněna funkce elektronických přístrojů. Rušení vzniká při vypínání indukční zátěže, tedy elektromagnetické cívky stykače. Při vypínání se mohou tvořit vysoká indukční napětí a ta mohou za určitých okolností vést ke zničení sousedních elektronických přístrojů, nebo přes kapacitní vazební mechanismy vytvořit impulz rušivého napětí, a tím způsobovat poruchy provozu. Jelikož nerušené vypínání není bez odrušovacích členů možné, připojuje se v závislosti na způsobu použití k cívkce stykače odrušovací prvek.

RC člen	-	ochrana vůči VF rušení, omezuje přepětí, prodlužuje se doba odpadu
Varistor	-	velmi omezuje přepětíové špičky, prodlužuje dobu odpadu
Dioda	-	odstraňuje přepětí a oscilaci, prodlužuje dobu odpadu
Obousměrné diody-		omezení vůči přepětíovým špičkám

Relé

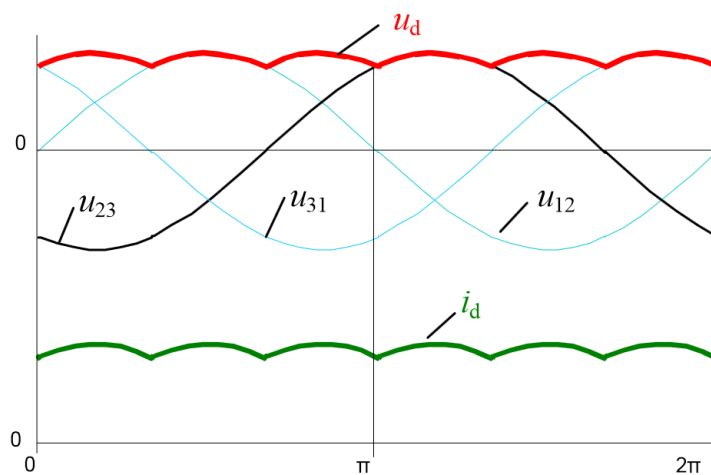
Jednoduché zařízení se spínacími, rozpínacími a přepínacími kontakty. Má ovládací cívku na AC a DC napětí různých hladin. U zdroje se používá pro spínání výkonových stykačů a malých ovládacích prvku. Více v katalogové příloze. [22]

Dálkové ovládání

Slouží pro ovládání celého jeřábu, nebo pouze elektromagnetu. Ovládání elektromagnetu je napájeno z rozvaděče zdroje pomocí svorek na 24V DC. Do rozvaděče jsou přiváděny signály jednotlivých tlačítek magnetizace, demagnetizace, tipování, bezpečnostní kontakt a dalších. Ovladač je možné zvolit bezdrátový nebo závěsný na kabelu.

Trojfázový šestipulzní usměrňovač

Diodový můstek vytváří napětí v jednotlivých fázích a působí vždy na dvojici polovodičových diod, tvořící jednu větev usměrňovače. Vstupní proud v jednotlivých fázích bude procházet oběma směry.



Obrázek 25 Průběh usměrněného napětí a proudu [19]

Střední hodnota usměrněného napětí U_d naprázdno:

$$U_d = \frac{6}{2\pi} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} \sqrt{2} \cdot U_s \cdot \sin(0) d(0) = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_s = 1,35 \cdot U_s = 2,34 \cdot U_f \quad (3.5)$$

U_s - sdružené napětí
 U_f - fázové napětí

3.12 Návrh baterií

Olověný akumulátor je sekundární galvanický článek s elektrodami na bázi olova, jehož elektrolytem je kyselina sírová. Vyrábí se v kapacitách řádově od 1 do 10 000 Ah. Hlavními výhodami je dobře zvládnutá technologie výroby, relativně nízká cena a relativně vysoký výkon. Stejnosměrné elektromagnety se vyrábí na napětí 110V a 220V DC, proto používáme 8 nebo 16 sériově řazených baterií.

Napětí baterie

Nominální napětí baterií je 12V. Skutečné napětí článku při nabíjení je 2,3V. V počtu 6-ti článků je výsledné napětí baterie 13,8V.

Cykly a životnost

Je-li olověný akumulátor delší dobu ponechán v nedostatečně nabitém stavu, tak na jeho elektrodách dochází k tzv. sulfaci, která výrazně snižuje jeho kapacitu. Proto poté, co je olověný akumulátor používán, je potřeba ho brzy dobít. Nabíjení akumulátoru zajišťuje nabíjecí zdroj, který pomocí měřicího členu měří napětí na bateriových člancích.

Návrh kapacity

Kapacitu baterií navrhujeme dle jmenovitého proudového odběru elektromagnetu na základě katalogové vybíjecí charakteristiky při 20°C a potřebné délky času zálohy. Zároveň můžeme porovnat dle tabulky vybíjení na základě napětí článku a času vybíjení. Důležité je brát v úvahu úbytek kapacity při teplotě 0°C. Je třeba vynásobit celkovou kapacitu baterií procentuálním úbytkem a brát v úvahu i koeficient stárnutí. Konečná kapacita je ovlivněna teplotou okolí a stárnutím. Všechny potřebné hodnoty jsou k nalezení v katalogovém listu baterií.

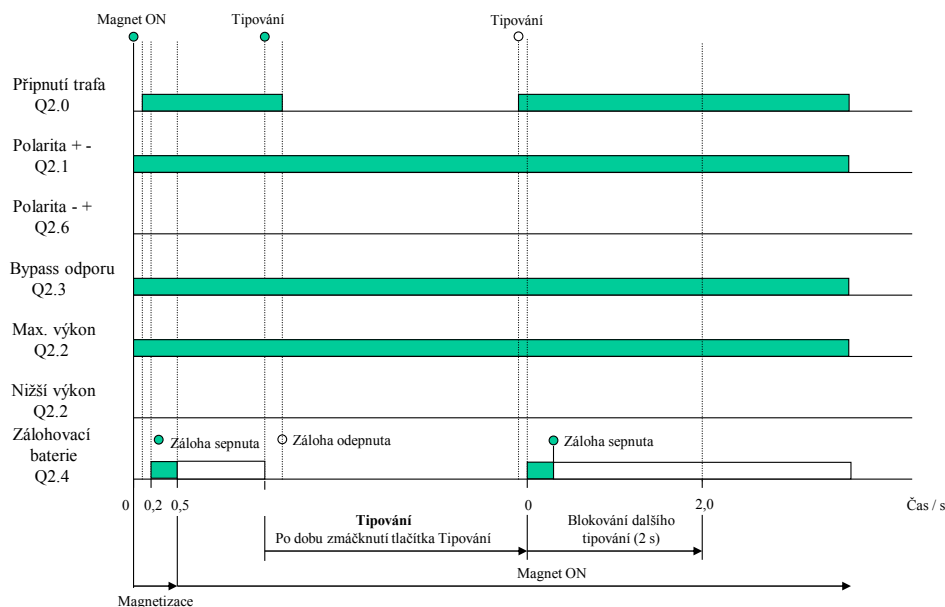
3.13 Funkce rozvaděče

Tipování

Slouží ke snížení přídržné síly elektromagnetu. Využívá se při odhazování přebytečného břemene. Snížení výkonu je závislé na době stlačení tlačítka tipování.

Dochází k odepnutí transformátoru -TR3.3 pomocí stykače -KM12.5. Tím není napájen transformátor a elektromagnet. Elektromagnet bez napájení snižuje svoji přídržnou sílu do doby úplného vybití své energie, nebo připnutí transformátoru. Zároveň dochází k odepnutí zálohy, která je znovu připojena až po ukončení tipování.

Tipování



Obrázek 26 Tipovní a jeho průběh funkcí v závislosti na čase

Magnetizace

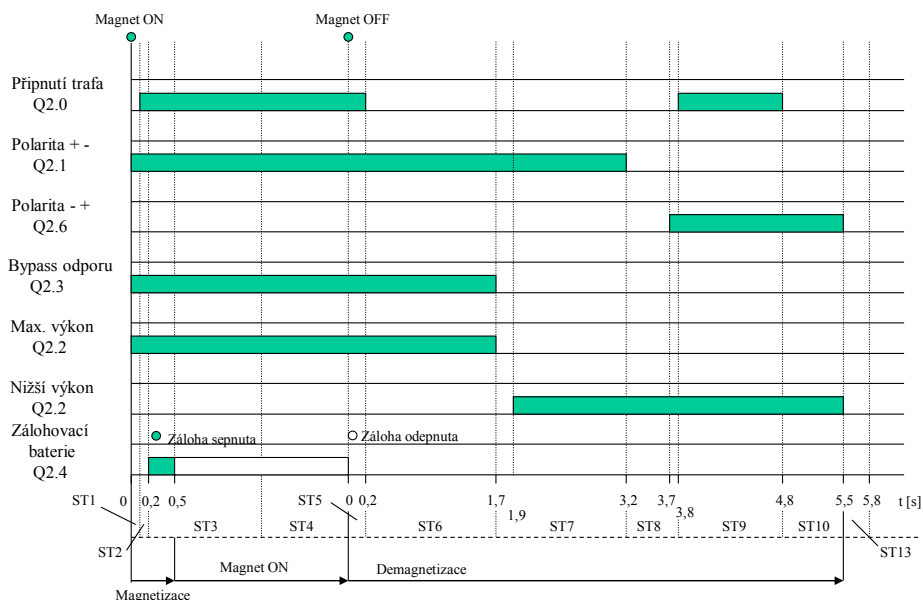
K magnetizaci dochází na základě správně přivedeného polarizovaného napětí na svorky elektromagnetu. Hlavní napájení nám zajišťuje transformátor -TR3.3 spínaný stykačem -KM12.5.

Napájení elektromagnetu je řešeno pomocí těchto prvků: kladnou polaritu magnetu zajišťuje stykač -KM12.7 a stykač -KM12.9, který je určený k přemostění vybíjecích odporů. Napájecí stejnosměrné napětí přichází ze třífázového můstku -TU3.3., který je napájen z hlavního transformátoru -TR3.3.

Prvotní čas magnetizace pracuje elektromagnet se sníženým výkonem, který je řešen odepnutím jedné fáze pomocí stykače -KM12.8. Po uplynutí nastaveného času, nebo povelu zdvihnutí elektromagnetu dojde k připnutí této fáze, a tím k plné síle magnetizace.

Současně dojde k sepnutí stykače zálohy -KM15.11, pro případ výpadku napájení.

Magnetizace 100%



Obrázek 27 Magnetizační funkce v závislosti na čase

Demagnetizace

Současným stlačením dvou tlačítek safety (bezpečnostní tlačítko) a demagnetizace, dojde k odmagnetování elektromagnetu. Tímto dojde k odpadnutí břemene.

Při aktivování této funkce se odepne stykačem -KM12.5 přívod hlavního transformátoru -TR3.3. Následně dochází k rozepnutí stykače -KM12.9. A připojením vybíjecích odporů současně s ním se odepne stykač -KM12.8 pro maximální výkon. Aby bylo vybití úplné, dojde ke změně polarity elektromagnetu stykačem -KM12.9. Následným chvilkovým zapnutím hlavního transformátoru dojde k úplné demagnetizaci.

Sepnutím této funkce dojde k odpojení stykače -KM15.11 pro připojení zálohy baterii.

4 Návrh a konstrukce napájecího zdroje

Na základě parametrů elektromagnetu můžeme navrhnout napájecí zdroj přesně pro tento konkrétní typ. Pro návrh zdroje potřebujeme znát přírodní napětí $U = 400\text{V}$, druh a velikost napětí elektromagnetu $U = 110\text{V DC}$, výkon elektromagnetu $P = 3\text{ kW}$, teplotu okolního prostředí 0°C až $+45^\circ\text{C}$, potřebné krytí skříně IP54, barvu RAL7032 a maximální rozměry dle umístění zdroje.

Pro lepší orientaci ve schématu jsou jednotlivé přístroje značeny. První číslice označuje stranu projektu, na kterém se nachází přístroj, nebo jeho hlavní část. Druhé číslo označuje sloupec umístění na konkrétním listě.

4.1 Konstrukce skříně

Na základě vytvořeného schématu v příloze č.1, a rozmístění součástí, je třeba zvolit typově zkoušenou skříň [8] o rozměrech 1100 mm výšky, 1600 mm šířky a 400 mm hloubky. Tyto rozměry jsou s dostatečnou rezervou pro případné změny.

4.2 Chlazení rozvaděče

Nejprve si sečteme všechny ztrátové tepelné výkony prvků. Z katalogových listů zjistíme ztrátové výkony hlavních pojistek, transformátorů, usměrňovacích diod, bateriového nabíjecího zdroje a vybíjecích odporů. Ostatní prvky např. stykače nemají tak velké ztráty, ale je třeba s nimi v součtu počítat. Celkový součet tepelných ztrát dle katalogových listů je $Q = 500\text{W}$.

Koeficient f zvolíme dle nadmořské výšky, ve které bude rozvaděč pracovat. Hodnotu nám udává Tabulka 3 Hodnoty koeficientu f dle nadmořské výšky.

Teplotní rozdíl mezi venkovní T_e a vnitřní T_i teplotou jsme stanovili na 10°C . Je to z důvodů maximální teploty venkovního prostředí, která je zadána na 45°C . Vnitřní teplota rozvaděče nesmí přesáhnout 55°C .

$$\text{Průtok vzduchu} = 3,1 \cdot \frac{500}{10} = 155\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Z výsledného průtoku vzduchu z rovnice (3.1) zvolíme vhodný ventilátor.

Na základě ztrátového výkonu součástí a výpočtu použijeme ventilátor FPF15KR230BE s průtokem $240\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, k němu větrací mřížku o stejné velikosti FPF15KRG. Vždy je lepší předimenzovat ventilaci, než ji podcenit a spoléhat na odvod tepla pomocí stěny rozvaděče. Zvýšenou teplotou by docházelo k rychlejší degradaci součástí.

4.3 Návrh transformátoru

Hlavní napájecí transformátor -TR3.3 navrhujeme výkonově stejně jako je výkon elektromagnetu. $S = 3\text{kVA}$. Primární napětí se dle zadání volí třífázové $U = 400\text{V}$. Výstupní fázové napětí na sekundární straně volíme takové, abychom po usměrnění dostali přibližně napětí $U = 110\text{V DC}$. To odpovídá napětí elektromagnetu.

Dosazením do rovnice (3.5) dostaneme výstupní napětí transformátoru.

$$U_d = 2,34 \cdot U_f \gg U_s = \frac{110}{1,35} = 81,5V$$

Při zadávání výroby transformátoru, nelze tohoto napětí na výstupu docílit, z důvodu celých otáček vinutí závitů transformátoru. Proto volíme napětí 86V.

Ovládací transformátor -TR1.3 napájí ovládací prvky. Primární strana transformátoru je napájena napětí $U = 400V$, sekundární část už dodává napětí o hodnotě $U = 230V$. Ovládací transformátor napájí ventilátor s proudovým odběrem 130mA, PLC při plném zatížení 700mA, dvě signalizační LED zařízení po 45mA a siréna 100mA. Celkový proudový odběr má hodnotu 1020mA. Transformátor by stačil o výkonu $S = 234VA$, podložným na základě výpočtu.

$$S = U \cdot I = 230 \cdot 1,02 = 234VA$$

Ovšem musíme použít nejmenší možný vyráběný výkon transformátoru a ten je $S = 315VA$.

4.4 Návrh jištění

Aby bylo jištění vhodně navrženo, je třeba znát proudový odběr celého zařízení. V našem případě je použit elektromagnet o výkonu $P = 3kW$ na stejnosměrné napětí $U = 110V$.

Napájení elektromagnetu je zajištěno prostřednictvím transformátoru -TR3.3, který je napájen ze sítě 3 x 400V 50Hz. Výkon transformátoru se volí stejný jako u elektromagnetu, $S = 3kVA$. Jmenovitý proud odebíraný transformátorem z primární strany vypočteme dle rovnice:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi \quad (4.1)$$

$$I_1 = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot \cos\varphi} = \frac{3000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,89} = \frac{3000}{513} = 4,86A$$

Výstupní proud transformátoru vypočteme dle převodního poměru:

$$k = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (4.2)$$

$$I_2 = \frac{I_1 \cdot U_1}{U_2} = \frac{4,86 \cdot 400}{86} = 22,6 A$$

Sekundární stranu transformátoru budeme jistit polovodičovými pojistky o hodnotě 32A gG. Z důvodů použití diodového můstku, který na výstupu dodává proud o hodnotě 27,2A.

Ovládací obvod je jištěn na základě parametrů transformátoru -TR1.3, 400 / 230V o příkonu 315VA. Pro jištění primární strany transformátoru je vhodné použít jištění jističem pomalé charakteristiky D2A.

$$I = \frac{P}{U_1} = \frac{315}{400} = 0,79A$$

Pro spolehlivé jištění transformátoru je použit jistič charakteristiky D 2A na základě vypočteného výstupního proudu.

$$I = \frac{P}{U_2} = \frac{315}{230} = 1,37A$$

Jištění záložních baterií je zvoleno takové, aby baterie spolehlivě dodávaly proud I_{mag} potřebný pro udržení napájení na elektromagnetu při výpadku napájení.

$$I_{mag} = \frac{P}{U}$$

$$I_{mag} = \frac{3000}{110} = 27,2A$$

Vznikne-li poškození magnetu, baterie by dodávaly příliš velký proud oproti jmenovitému I_{mag} . Tato situace by vedla k rychlému vybití, nebo i zničení záložních baterií. Z tohoto důvodu používáme jištění o hodnotě 32A charakteristiky typu C. Celý obvod je dobíjen napájecím zdrojem -T2.10, dodávající napětí 110V DC.

Napájecí zdroj dle katalogového listu výrobce jistíme jističem -F2.8, o hodnotě 10A D. [20]

Celkové hlavní jištění zařízení umísťujeme za hlavní vypínač -Q1.1. Sečtením všech proudových hodnot paprsků dostaneme celkový proud zařízení.

$$I_{celkové} = I_{TR1.3} + I_{T2.10} + I_{TR3.3} = 0,79 + 4 + 4,86 = 9,6A$$

Na základě tohoto proudu můžeme použít jištění o stupeň vyšší, ovšem je třeba myslet na selektivitu jednotlivých jisticích prvků. Proto pomyslně sečteme proudové hodnoty jisticích prvků -F1.3, -T2.8 a -TR3.3. Dostáváme se na hodnotu 20A.

V našem případě, použijeme třífázové pojistky -FU1.1 o hodnotě 20A AM. Na jištění přívodního vedení -WL je použit jisticí prvek -FU0.1, neboť je doporučeno o stupeň vyšší jištění než je hodnota -FU1.1. Selektivitu jištění a její charakteristiky je možné vidět na příslušných grafech programu Sichr.

Zdroj SD - 150D - 24, -T5.3 je doporučeno výrobcem jištění pomocí dvoupólového jističe 6A charakteristiky D [21].

Bateriový obvod dodává do elektromagnetu proud 27,2A, proto je vhodné použít 32A jistič charakteristiky D. Není chybou použití měkčí charakteristiky, při dodržení proudu.

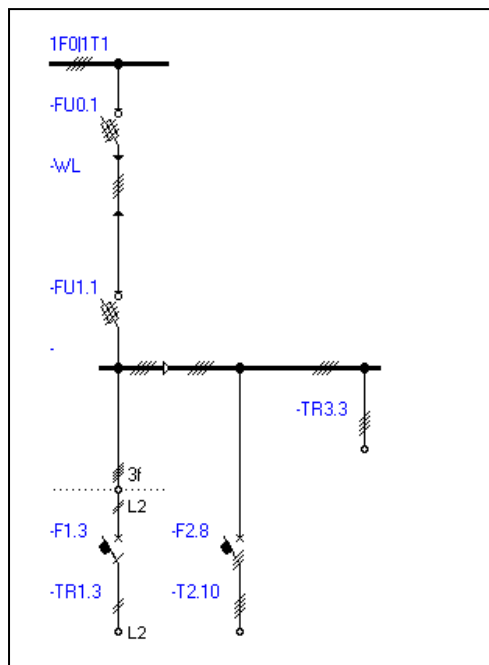
Pro jištění přívodního napětí signalizujících stavy jeřábu, je použit jistič 2A B. Zde je možné vybrat i menší proudové hodnoty na základě výhodnější ceny. Cívky napájených relé odebírají zanedbatelný proud.

Jištění napájení dálkového ovládání je zvoleno na základě katalogového doporučení výrobce ovladače.

Jištění PLC -K6.9 je doporučeno dle výrobce jističem -F6.9, 2A B.

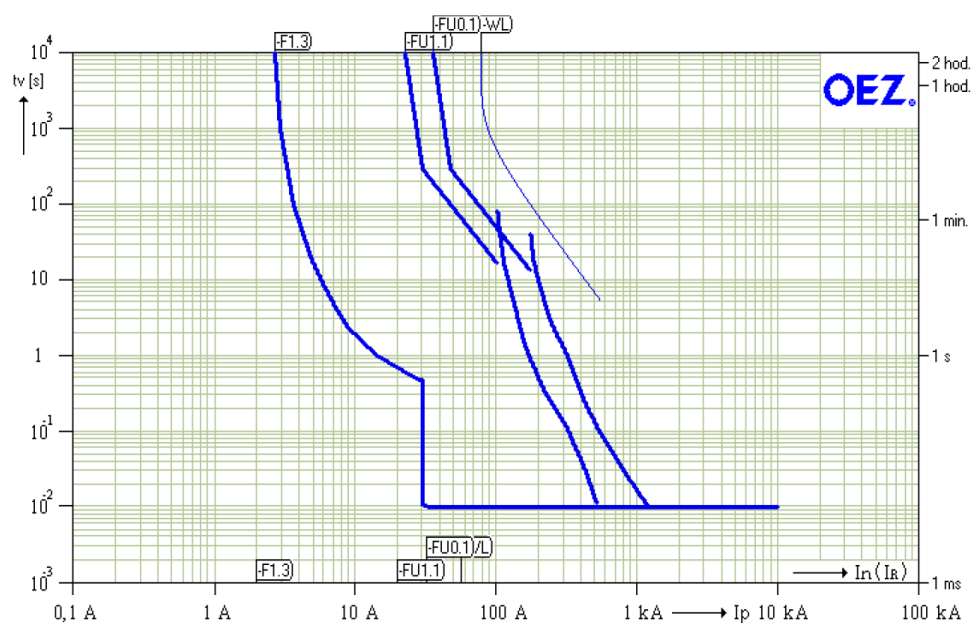
Jištění napěťového signálu přivedeného na vstupní kontakty -K6.11 je řešeno jističi -F7.2, -F9.2 o hodnotách 1A B. Přídavný modul -K6.11 a napájení reléových výstupů jističem -F13.2, 2A C.

Selektivita jištění



Obrázek 28 Paprskové schéma sítě

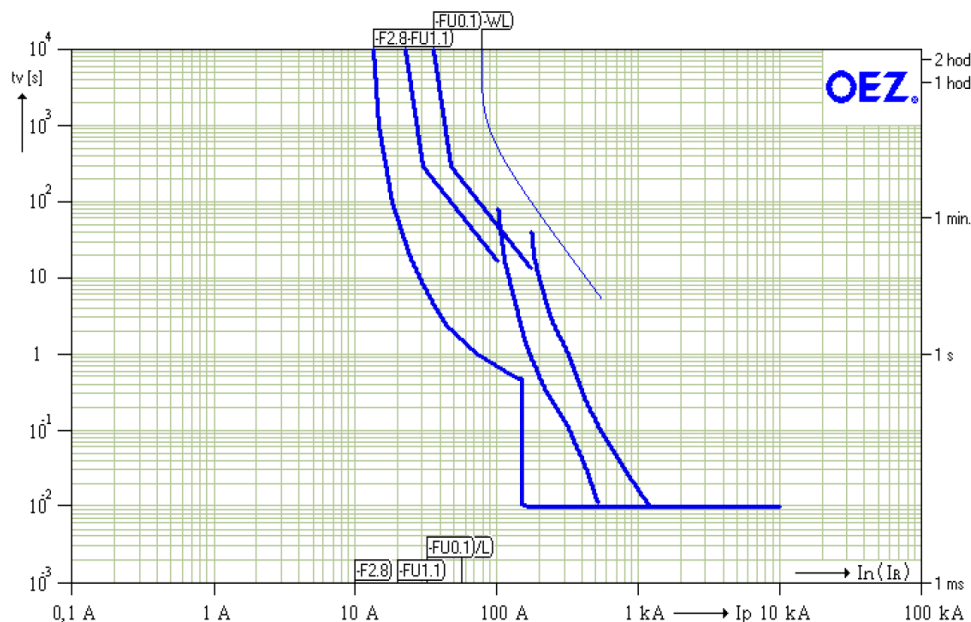
Z obrázku 28 je zřejmé, že jištění uvnitř rozvaděče začíná hlavními pojistkami -FU1.1. Dále je třífázové vedení paprskovitě rozděleno na tři části. Na obrázku 29 je první paprsek vedení jištěný dvoufázovým jističem -F1.3, D 4A, který napájí ovládací transformátor -TR1.3. Druhý paprsek napájí třífázově říditelný napájecí zdroj -T2.10, jištěný jističem -F2.8, D 10A. Třetí paprsek, na jehož koci je napájecí transformátor -TR3.3, je přímo napájený z pojistek -FU1.1.



Obrázek 29 Vypínací charakteristiky paprsek 1

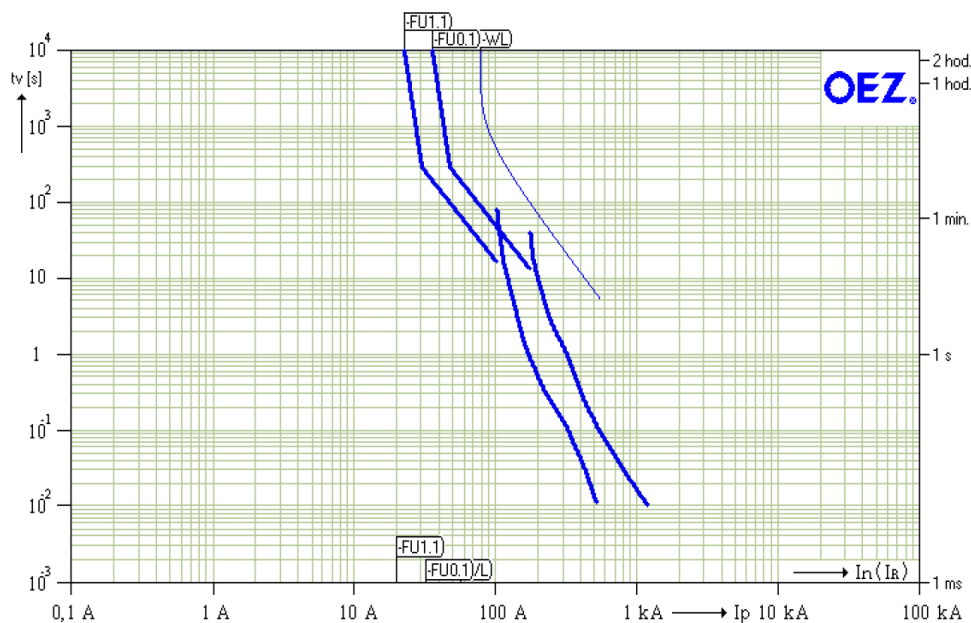
Celé zařízení je doporučeno jistit minimálně o stupeň vyšším jištěním, proto se předřazené pojistky -FU0.1, volí hodnoty 32A aM a umisťují před rozvaděč. Napájení je řešeno pomocí měděného kabelu -WL o minimálním průřezu 4x10mm². Průřez kabelového vedení je zvolen dle nejvyššího proudu, který je ovlivněn jistícími prvky.

Vypínací charakteristiky nám zobrazují jednotlivé prvky a jejich selektivní jištění.



Obrázek 30 Vypínací charakteristiky paprsek 2

Na obrázku 30 je zobrazen průběh jističe -F2.8, který je posledním jisticím prvkem před nabíjecím zdrojem -T2.10. Pojistka -FU0.1 je prvkem umístěným před zdrojem chránící externí napájecí vedení -WL. V rozvaděči zdroje jsou hlavní pojistky -FU1.1. Z obrázku je patrná selektivita jednotlivých prvků.



Obrázek 31 Vypínací charakteristiky paprsek 3

Z obrázku 31 je vidět selektivní jištění přívodního vedení. Doporučené pojistky -FU0.1 před rozvaděčem zdroje a jisticími pojistkami v rozvaděči -FU1.1.

4.5 Návrh kabelového vedení

Dle zmíněné normy a proudového odběru elektromagnetu 27,2A určíme průřez kabelového vedení. Je navržen kabel 5x1,5mm² baude NSHTO, který je navíjen na kabelový buben. Maximální délka měděného kabelu průřezu 2x1,5mm² pro úbytek napětí do 5%

$$l = \frac{\Delta U \cdot \gamma \cdot S \cdot U}{2 \cdot P} = \frac{5 \cdot 56,0538 \cdot 1,5 \cdot 1,5 \cdot 110}{2 \cdot 1500} = 30,8\text{m}$$

Použitý kabel

Dle výpočtu lze použít kabel o maximální délce 30,8m průřezu 5x1,5mm². Dva vodiče slouží pro vedení proudu jedné polaroty, proto kabel vyhovuje dovolenému proudu.

Použití vodiče

Pro interní zapojení zdroje je použito jednožilových izolovaných vodičů. Na základě Tabulka 4 Součinitel okolní teploty k . Tabulka 5 Jmenovitý proud IN jednožilových vodičů, lze dle proudového zatížení odvodit průřezy jednotlivých vodičů ve schématu.

4.6 Návrh ovládacího obvodu PLC

Použití programovatelného automatu má řadu výhod, jednou z nich jsou malé rozměry zařízení a spolehlivost ověřená v praxi. Dříve se využívala reléová logika. Její výhodou byla okamžitá vizuální kontrola, nevýhodou rozměry a poruchovost. Dnes se relé využívají pouze na spínání cívek výkonových přístrojů.

Návrh PLC je na základě počtu spínaných prvků doplněn o rozšiřující modul automatu - K6.11. Obsahuje 8 digitálních vstupů a 8 releových digitálních výstupů. Výstupy Q2.0-2.3 napájené napětím 24V je možné spínat cívky stykačů o stejném napětí, výstupy Q2.4-7 můžeme přivést napětí 230V dle schématu a spínat elektromagnetické cívky stykače. Na vstupy jsou přiváděny potřebné digitální signály pro řízení celého zařízení.

Na tranzistorové výstupy CPU224 -K6.9, jsou připojeny cívky stykačů se sníženým odběrem.

Dálkové ovládací zařízení je napájeno přímo z napájecího zdroje. V příloze II, na straně 14 a 23 je napájení jednotlivých kontaktů ovladače ze svorkovnice -X15:1 a přivedení signálu z kontaktů ovladače zpět na svorky X15:2-7. Kontakty ovladače nám spínají jednotlivá relé, která vyhodnocuje naprogramovaný automat.

4.7 Návrh prvků

Vybíjecí odpory

Vybíjecí odpory slouží pro určení časové konstanty dle rovnice (2.5).

Indukčnost elektromagnetu není většinou známa, protože provozovatel používá v rámci ušetření různé elektromagnety o stejném výkonu, ale různých tvarů. Zároveň je i jiná indukčnost elektromagnetu při každém zvednutí břemene.

Jedním z univerzálních pravidel je, že rezistivita vybíjecích odporů by měla být dvakrát větší než rezistivita elektromagnetu. Výsledná rezistivita elektromagnetu při nulové teplotě je:

$$R_0 = \frac{U}{I} = \frac{110}{27,2} = 4,0\Omega$$

Při změně teploty mezi 0°C až 45°C se bude měnit elektrický odpor elektromagnetu dle rovnice:

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \Delta t) = 4 \cdot (1 + 4 \cdot 10^{-3} \cdot 45) = 4,75\Omega \quad (4.3)$$

R [Ω]	-	změna elektrického odporu
R ₀ [Ω]	-	počáteční odpor vodiče
α [K^{-1}]	-	teplotní součinitel odporu pro Cu je $\alpha = 4 \cdot 10^{-3} K^{-1}$

Z výsledného odporu vyplívá změna elektrického odporu o 0,75 Ω . Možnou změnu elektrického odporu můžeme zanedbat.

Elektrický odpor vybíjecích rezistorů by měl být okolo hodnoty 8Ω . Proto použijeme paralelní řazení. Ztrátový výkon jednoho prvku je 50W. Vzhledem k použití na pár sekund je chvilkové překročení výkonu možné dle katalogového listu.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad (4.4)$$

Při použití cenově výhodného rezistoru 4R7 je výsledný odpor dosažen paralelním zapojením čtyř rezistorů. Zapojení je v příloze II na straně 4.

Vybíjecí diody

Vybíjecí diody -RD4.7 navrhujeme dle magnetizačního proudu, umísťujeme je na chladicí desku a volíme nejbližší proudovou hodnotu. Vzhledem k ceně jednotlivých typů jsou doporučeny diody SKKD 162. Předimenzování je výhodné, neboť diody jsou velice náchylné na zvýšené proudy.

Usměrňovací můstek

Je vybrán dle elektrického proudu elektromagnetu hodnoty 27,2A. Vzhledem k cenám můstků použijeme 160MT160KB pro proudové zatížení 160A. Tento usměrňovací můstek připevňujeme na chladicí zařízení, protože tepelné ztráty můstku jsou přibližně 3W na 1A. Což odpovídá tepelné ztrátě $Q = 82W$ a nežádoucímu ohřevu. [25]

Návrh stykačů

Zapínání hlavního napájecího transformátoru -TR3.3 je realizováno pomocí stykače -KM12.5. Protože známe odebíraný proud 4,86A, zvolit hodnotu stykače je jednoduché. Zde je vhodné přístroj předimenzovat, z důvodu častého spínání a životnosti. Použijeme hodnoty 12A.

Stykač magnetizace -KM12.7, spíná stejnosměrné napětí. Přes tento stykač prochází proud 27,2A DC, a proto je kladná polarita vedena přes dva kontakty stykače.

Stykač demagnetizace -KM13.8 krátkodobě spíná napětí opačné polarity, proto je možné zvolit menší hodnoty přístroje. Zvolený stykač hodnoty 32A může být do 10sek zatížen až 260A. Ke spínání dochází při téměř nulovém proudu. Proto volíme stykač přesně na proudové zatížení 27,2A, se dvěma kontakty v sérii.

Stykač -KM12.9 pro přemostění odporů je hodnoty 50A, stejný případ dimenzování jako u stykače -KM12.7.

Stykač záložních baterií -KM15.11 spíná DC napětí bez proudové zátěže. Je použit nejmenší vyráběný permanentní stykač hodnoty 150A.

Připojení diod při vybíjení magnetu je prováděno stykačem -KM10.5, proudové zatížení je do 10 sekund a je použito všech tří kontaktů. U spojení tří kontaktů se využívá koeficientu 2,25. Výsledný stykač je proudová zátěž 27,2A dělená koeficientem 2,25. Proto je použit stykač o hodnotě 18A. [18]

Odrušovací členy stykačů

U spínacích prvků je důležité, aby se zabránilo rušení od cívky přístroje. K jednotlivým prvkům je třeba přiřadit odrušovací prvky, pokud nejsou už jeho součástí. Stykače -KM9.8-11 typu LC1D09BL, mají cívku na 24V DC se sníženým výkonem na 2,4W s vestavěným odrušovacím členem. -KM10.5 typu LC118BL který má také vestavěný odrušovací člen. U stykače -KM12.5 - 9 s cívkou na napětí 230V AC, je třeba použít odrušovací členy. Nejlépe varistor LAD4V3U, který připojíme paralelně k cívce stykače. RC členy se připojují z boku a varistory se nasazují z přední strany.

4.8 Specifikace baterií

Záložní baterie vybíráme podle napětí 110V DC, proudu elektromagnetu a délky času zálohy 20minut. Proudový odběr elektromagnetu je $I = 27A$. Z napětí zjistíme použití 8 kusů baterií zapojených v sérii. To znamená, že celkový součet napětí baterií dělá přibližně 110V DC. Pro proud 27A by teoreticky mohla vystačit na jednu hodinu 28Ah baterie. Ovšem skutečnost je jiná. Musíme počítat s tím, že vybíjecí charakteristika není lineární. Proto nám pomůže Tabulka 6 Konstantní vybíjecí proud 28Ah baterie při 20°C kde napětí článku klesne na hodnotu 1,7V při vybíjecím čase 20 minut. Výsledný proud, který je schopná baterie dodávat je 41,5A. Tento proud je potřeba vynásobit koeficientem 0,85 pro teplotu 0°C a koeficientem stárnutí 0,8. Výsledný proud po vynásobení je 28,22A. Tato baterie je vhodná k použití. Pro orientační kontrolu lze z vybíjecí charakteristiky odvodit potřebnou kapacitu baterií, která vychází pro baterii 28Ah v počtu 8 kusů pro celkové napětí 110V DC.[23, 24]

Tabulka 6 Konstantní vybíjecí proud 28Ah baterie při 20°C [24]

End V per Cell	5 M	10 M	15 M	20 M	25 M	30 M	35 M	40 M	45 M	60 M	90 M	2 hr	3 hr	4 hr	5 hr	8 hr	10 hr	12 hr	20 hr
1.85	78.5	57.4	45.7	38.0	32.6	28.6	25.5	22.8	20.9	16.7	12.1	9.67	7.15	5.59	4.60	2.86	2.35	2.01	1.34
1.80	83.6	60.5	47.9	39.2	33.6	29.4	26.2	23.4	21.4	17.0	12.3	9.76	7.20	5.62	4.63	2.95	2.41	2.05	1.37
1.75	87.7	63.6	49.6	40.3	34.6	30.2	26.8	24.0	21.9	17.4	12.4	9.85	7.24	5.65	4.66	2.98	2.43	2.07	1.37
1.70	91.2	65.8	51.4	41.5	35.3	30.9	27.3	24.6	22.3	17.7	12.6	9.93	7.29	5.71	4.70	3.02	2.48	2.11	1.39
1.65	96.0	67.6	52.2	42.2	35.9	31.4	27.8	24.9	22.7	17.9	12.7	10.0	7.36	-	-	-	-	-	-
1.60	100	70.3	53.6	42.8	36.3	31.8	28.1	25.2	22.9	18.1	12.8	10.1	7.44	-	-	-	-	-	-

Nastavení nabíjecího zdroje

Pro docílení nejdelší provozní životnosti baterií, je třeba tyto baterie dobíjet. Velikost dobíjecího proudu by měla být dle předepsané hodnoty. Pro baterie v počtu 8 kusů jednotné kapacity 28Ah, 12V je ideální nastavení nabíjecího proudu o maximální hodnotě 5A. Proudová hodnota ke kapacitě baterií je v poměru 0,16.

4.9 Konečná fáze projektu

Po ukončení fáze kreslení a návrhu projektu dochází k montáži celého zařízení. Do prázdné rozvaděčové skříně se vloží montážní deska osazená zapojenými komponenty. Poté se vloží napájecí transformátor, a vše se uvede do konečného stavu. Po dokončení montáže zkušební

technik prověřuje správnost zapojení. Po ověření správnosti zapojení nahraje programátor do PLC řídicí program, na jehož základě pracuje celý zdroj. Zkušební technik společně s programátorem spouští a postupně testuje jednotlivé části zdroje. Zároveň zkouší zařízení s provizorním elektromagnetem. Po úspěšném ověření funkčnosti zdroje, je na základě formálních a finančních záležitostí odeslán zákazníkovi. Po nainstalování u zákazníka se na místě doladí funkčnost zdroje pro konkrétní aplikace a přizpůsobí se pro požadavky obsluhy.

Poté je obsluha prokazatelně proškolená o bezpečnosti a způsobu ovládání napájecího zdroje. Kompletní dokumentace je archivována dle ISO 9001 a kopie předána zákazníkovi.

5 Závěr

Předmětem této práce bylo seznámení se s principem elektromagnetů. Jsou určeny pro manipulaci s feromagnetickými materiály, a nazývají se břemenové elektromagnety. Vyznačují se velkou přídržnou silou avšak malým přitahem. To je ovlivněno způsobem uchycení. Na přídržné ploše elektromagnetu se po přivedení napětí na cívku vytváří otevřené magnetické pole. Po přiložení feromagnetického materiálu se změní magnetický tok na uzavřený a značně se zvýší jeho hodnota. Je-li dosednutí kotvy přesnější, přídržná síla je větší. Při vypínání elektromagnetu dochází vlivem jeho indukčnosti k přepětí, to může poškodit zařízení. Řešení spočívá v použití vybíjecích odporů s diodou.

Napájecí zdroje jsou konstruovány pro napájení stejnosměrných elektromagnetů. V naprosté většině se používají právě tyto stejnosměrné elektromagnety, z důvodu možnosti použití jednoduchého principu zálohy pomocí záložních baterií. Ty jsou navrhovány takovým způsobem, aby byla zajištěna přídržná síla elektromagnetu při výpadku napájení. V druhém případě by došlo ke spadnutí břemene a tím k ohrožení osob a věcí. Z důvodu bezpečnosti při manipulaci s břemenem, je elektromagnet provozován při zdvihání na poloviční výkon a po přisednutí břemene se výkon elektromagnetu zvýší na maximální hodnotu. Tím je zvýšena přídržná síla a menší pravděpodobnost odpadnutí.

Hlavním přínosem této práce byl návrh a popis funkce zdroje na základě parametrů elektromagnetu. Při konstrukci rozvaděčové skříně je potřeba brát ohled na vnitřní oteplení od provozovaných přístrojů, toto oteplení je řešeno správně navrženou ventilací na základě venkovních a vnitřních provozních podmínek. Celá skříň je železná konstrukce odolávající nepříznivému venkovnímu prostředí. Návrh jednotlivých komponentů je popsán společně s návrhem selektivity jištění. Přívodní kabelu pro napájení elektromagnetu je navržen, tak aby bylo možné jeho navíjení na buben.

Na základě této práce je možné vytvořit napájecí zdroj pro stejnosměrné elektromagnety, dle požadavku zákazníka a parametrů provozovaného elektromagnetu.

Seznam tabulek

Tabulka 1 Označení tepelných tříd.....	- 10 -
Tabulka 2 Třídy teplotní odolnosti elektrické izolace.....	- 15 -
Tabulka 3 Hodnoty koeficientu f dle nadmořské výšky.....	- 31 -
Tabulka 4 Součinitel okolní teploty k	- 37 -
Tabulka 5 Jmenovitý proud I_N jednožilových vodič.....	- 37 -
Tabulka 6 Konstantní vybíjecí proud 28Ah baterie při 20°C [24].....	- 51 -

Seznam obrázků

Obrázek 1 Řez elektromagnetu	- 1 -
Obrázek 2 Závit na krátko a jeho průběh	- 4 -
Obrázek 3 Zapínací a vypínací charakteristiky stejnosměrného elektromagnetu	- 5 -
Obrázek 4 Zapínací a vypínací charakteristiky střídavého elektromagnetu	- 5 -
Obrázek 5 Řez přídržného elektromagnetu s kotvou [9]	- 7 -
Obrázek 6 Pracovní cyklus [9]	- 8 -
Obrázek 7 Statická tahová charakteristika	- 11 -
Obrázek 8 Ochrana proti přepětí s diodou a odporem	- 12 -
Obrázek 9 Průběh zániku proudu (platí pro přepětí)	- 12 -
Obrázek 10 Hlavní části ovládacího elektromagnetu	- 13 -
Obrázek 11 Řez kruhovým elektromagnetem	- 15 -
Obrázek 12 Řez břemenovým kruhovým elektromagnetem	- 16 -
Obrázek 13 Kruhový elektromagnet	- 16 -
Obrázek 14 Obdelníkový elektromagnet	- 17 -
Obrázek 15 Speciální elektromagnet na kotouče plechů	- 18 -
Obrázek 16 Traverza pro připevnění elektromagnetu	- 18 -
Obrázek 17 Blokové schéma zdroje	- 27 -
Obrázek 18 Rozvaděčová skříň napájecího zdroje	- 28 -
Obrázek 19 Průtok vzduchu rozvaděčem	- 30 -
Obrázek 20 Výběr ventilátoru dle parametrů [15]	- 31 -
Obrázek 21 Typ ventilátoru dle potřebného průtoku vzduchu [15]	- 32 -
Obrázek 22 Průběh proudu při zkratu	- 33 -
Obrázek 23 Ampérsekundová charakteristika pojistek [16]	- 34 -
Obrázek 24 Vypínací charakteristika jističe	- 35 -
Obrázek 25 Průběh usměrněného napětí a proudu [19]	- 39 -
Obrázek 26 Typovní a jeho průběh funkcí v závislosti na čase	- 41 -
Obrázek 27 Magnetizační funkce v závislosti na čase	- 42 -
Obrázek 28 Paprskové schéma sítě	- 46 -
Obrázek 29 Vypínací charakteristiky paprsek 1	- 47 -
Obrázek 30 Vypínací charakteristiky paprsek 2	- 47 -
Obrázek 31 Vypínací charakteristiky paprsek 3	- 48 -

Seznam literatury

Knižní zdroje:

- [1] HAVELKA, Otto. *Elektrické přístroje I*. 2. nezměň.vyd. Brno: VUT, 1979, 318 s.
- [2] DĚDEK, Libor. *Teorie elektromagnetického pole*. 1. vyd. Brno: VUT, 1990, 218 s. ISBN 80-214-0219-9.
- [3] HLAVIČKA Alois, Petr BALÁŽ a Antonín BĚLAŘ. *Elektřina a magnetismus*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1965, 318 s.
- [4] MYSLÍK, Jiří. *Elektromagnetické pole*. 1. vyd. Praha: BEN, 1998, 159 s. ISBN 80-860-5643-0.
- [5] VYCHODIL, Marek. *Projektování elektrického ohřevu výhybek*. Ostrava, 2011. Bakalářská práce. VŠB-TU Ostrava. Vedoucí práce Doc. Ing. Vítězslav Stýskala, PhD.

Normy:

- [6] ČSN 33 2000-5-51 ed.2, *Výběr a stavba elektrických zařízení - Všeobecné předpisy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006.
- [7] ČSN 33 2000-5-523, *Dovolené proudy v elektrických rozvodech*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003.
- [8] ČSN EN 60439 ed.2, *Typově zkoušené a částečně typově zkoušené rozvaděče*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

Internetové zdroje:

- [9] **Slovácké strojírný**. [online]. 2013 [cit. 2013-3-20]. Všeobecné technické informace. Dostupné z: <http://www.sub.cz/image/elmagnet.pdf>
- [10] **SELOS**. [online]. 2013 [cit. 2013-3-21]. E-katalog. Dostupné z: <http://www.magnety.sk/public/e-katalog/>
- [11] **Wikipedie** [Online].2013 [Citace: 2. 2 2013]. Elektromagnet <http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Elektromagnet&oldid=6623867>
- [12] **WALKER PILANA MAGNETICS** spol. s r.o.[online].[cit. 2013-03-05]. Dostupné z: <http://walkermagnet.com/>
- [13] **Magnetcontroller**. [online]. 2013 [cit. 2013-4-20]. Elektromagnety. Dostupné z: <http://www.magnetcontroller.com>.
- [14] **PROFIMAGNET**. [online]. 2013 [cit. 2013-4-4] Břemenové zvedací elektromagnety. Dostupné z: <http://www.profimagnet.cz/>
- [15] **FANDIS** [online]. 2013 [cit. 2013-4-5]. Průmyslové ventilátory a mřížky. Dostupné z: <http://www.axima.cz/katalogy/FPF2/index.html>
- [16] **Bezpečnost v elektrotechnice**. VŠB-TU Ostrava, 2010. Dostupné z: <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FEI/BVE/Bezpecnost%20v%20elektrotechnice.pdf>

- [17] **BAUDE** [online]. 2013 [cit. 2013-3-22]. Kabeľy pro navíjení na bubny. Dostupné z: <http://www.baude.com/cs/sortiment/dodavany-sortiment/kabeľy-pro-navijeni-na-bubny/>
- [18] **TeSys**. Stykače, jističí nadproudová relé. Elektronický katalog. 2013. Dostupné z: <http://www.ceha-kdc.cz/eshop/cat/47/47-02-386-01602.pdf>
- [19] **Usměřňovače**. VŠB-TU Ostrava, 2013. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske_FS/prednasky/sylab_Usm%201%20n_bc%20FS.pdf
- [20] **Řiditelný napájecí zdroj**. [online]. 2013 [cit. 2013-3-22]. Dostupné z: <http://www.axima.cz/katalog/produkt/ax3mv96-3x400v-96v-25a-----riditelný-napajeci-modul/AX3MV96/6ac1106a.html>
- [21] **Zdroj SD-150**. Elektronický katalog, 2013 [cit. 2013-3-12]. Dostupné z: <http://www.meanwell.com/search/sd-150/sd-150-spec.pdf>
- [22] **WEIDMULLER**. Katalog, 2013. Dostupné z: http://www.weidmueller.cz/files/download/termseries/WM_Flyer_TERMSERIES_CZ.pdf
- [23] **Baterie WING**. Elektronický katalog, 2013. Dostupné z: <http://www.bsol.de/files/en/WING.ESL/ESL-28-12.pdf>
- [24] **Baterie WING**. Elektronický katalog, 2013. Dostupné z: <http://www.wingbattery.com/images/stories/esl28-12.pdf>
- [25] **Třířázový můstek**. Elektronický katalog, 2013. Dostupné z: http://www.hqew.net/files/pdf/IRF/160MT160KB/160MT160KB_www.hqew.com.pdf?key=160MT160KB
- [26] **SOPROM**. [online]. 2013 [cit. 2013-3-15]. Dostupné z: <http://www.soporom.com>

Seznam příloh

- I. Výstupní listy programu OEZ SICHR 12.01
- II. Schéma zapojení PC - SCHEMATIC 12
- III. Technická specifikace zapojení